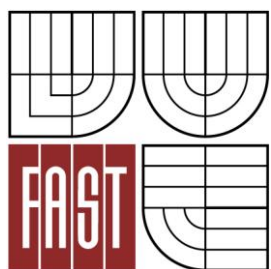




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

STATICKÁ ANALÝZA SPORTOVNÍ HALY

STATIC ANALYSIS OF SPORTS HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

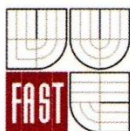
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL JEDLIČKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Michal Jedlička
Název Statická analýza sportovní haly
Vedoucí bakalářské práce Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu



.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

Bittnar Z., Šejnoha J. - Numerické metody mechaniky 1,2

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I a II

Manuály k systému RFEM

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Cílem práce je statická analýza sportovní haly. Bude proveden prostorový výpočtový model vybrané konstrukce, použité zatížení bude odpovídat platným normám. Modelování konstrukce, statická analýza i předběžný posudek vybraných prvků konstrukce bude proveden v programovém systému RFEM. Získané výsledky budou kontrolovány zjednodušeným ručním výpočtem.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá statickou analýzou sportovní haly v Libině. K vytvoření modelu byl použit program RFEM. Model byl vypracován podle poskytnuté projektové dokumentace a podle platných norem ČSN EN. Hlavním cílem bakalářské práce je analyzovat skutečnou konstrukci a upozornit na vznik možných problémů.

Klíčová slova

zatížení, konstrukce, model, modelování, kombinace, tíha, pruty, průřez, projektová dokumentace, sedání, nosné, průběhy, průhyb, analýza, program RFEM

Abstract

This Bachelor's thesis is about the static analysis of sports hall in Libina. I have used a program RFEM for making the model. The model was elaborated according to the provided project documentation and valid regulations ČSN EN. The aim of this work is to analyze the real construction and to point out to the formation of possible problems.

Keywords

load, construction, model, modeling, combinations, weight, rod, cross-section, project documentation, subsidence, load-bearing, process, sag, analysis, program RFEM

Bibliografická citace VŠKP

Michal Jedlička *Statická analýza sportovní haly*. Brno, 2016. 52 s., 13 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora
Michal Jedlička

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zbyňku Vlkovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a cenné rady, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce. Poděkování patří i mým rodičům a známým, kteří mě podporovali po celou dobu studia. Také bych chtěl poděkovat Mgr. Zdeně Zahradníkové za poskytnutí projektové dokumentace sportovní haly a Mgr. Jaroslavu Vojáčkovi za poskytnuté fotky ze stavby.

Obsah

Úvod	10
1. Popis objektu.....	11
2. Model konstrukce	12
2.1 Posouzení modelování prutových částí.....	12
2.1.1 Geometrie variant.....	12
2.1.1.1 Varianta A	12
2.1.1.2 Varianta B	13
2.1.1.3 Varianta C	13
2.1.1.4 Varianta D	14
2.1.2 Výsledky variant	15
2.2 Podloží	16
2.2.1 Geologický profil a vlastnosti zemín	16
2.2.2 Modelování podloží (plošná podpora) RF-SOILIN	16
2.3 Základy.....	17
2.3.1 Hlubinné (piloty)	17
2.3.2 Plošné	17
2.3.2.1 2D prvky.....	17
2.3.2.2 3D prvky.....	18
2.4 Svislé nosné konstrukce	18
2.4.1 Sloupy.....	18
2.4.2 Stěny.....	19
2.5 Vodorovné konstrukce	20
2.5.1 Stropní desky.....	20
2.5.2 Železobetonové věnce, průvlaky	21
2.6 Schodiště, výtahy	21
2.7 Střešní konstrukce.....	23
2.7.1 Zastřešení tělocvičny.....	23
2.7.2 Přilehlé části tělocvičny	24
3. Materiály	25
4. Zatěžovací stavy	26
4.1 Zatížení stálé	26
4.1.1 ZS 1 - Vlastní tíha nosných konstrukcí	26
4.1.2 ZS 2 - Vlastní tíha nenosných konstrukcí	26
4.1.2.1 Příčky	26
4.1.2.2 Podlahy.....	26
4.1.2.3 Schodiště	28

4.1.2.4	Střecha.....	29
4.1.2.5	Ostatní (výtah, vzduchotechnika).....	29
4.2	Zatížení proměnné.....	29
4.2.1	ZS 3/ ZS16 - Užité zatížení	30
4.2.2	Zatížení sněhem.....	30
4.2.2.1	ZS 4 - Sníh plný (1/1).....	31
4.2.2.2	ZS 5 - Sníh levý (1/0,5).....	31
4.2.2.3	ZS 6 - Sníh pravý (0,5/1).....	31
4.2.3	Zatížení větrem.....	31
4.2.3.1	Příčný vítr (+ x) ZS7, 8, 9, 10/ (– x) ZS 12, 13, 14, 15.....	33
4.2.3.2	Podélný vítr (– y) ZS 11	35
5.	Kombinace zatížení a výsledků	36
5.1	KZ 1. – Kombinace zatížení.....	36
5.2	KV 1. – Kombinace výsledků	36
5.3	KV 2. – Kombinace výsledků	36
5.4	KV 3. – Kombinace výsledků	36
6.	Parametry výpočtů RFEMu	37
7.	Výsledky	37
7.1	Základové konstrukce.....	37
7.2	Analýza interakce konstrukce s podložím.....	38
7.3	Stropní deska	40
7.4	Průvlaky/ ŽB věnce	41
7.5	Schodiště.....	41
7.6	Hlavní nosné sloupy.....	42
7.7	Střešní konstrukce.....	43
7.7.1	Mezní stav použitelnosti (MSP).....	43
7.7.1	Mezní stav únosnosti (MSÚ).....	43
8.	Závěr	45
	Literatura a normy	47
	Seznam obrázků.....	48
	Seznam tabulek	50
	Seznam symbolů a zkratk	51
	Seznam příloh	52

Úvod

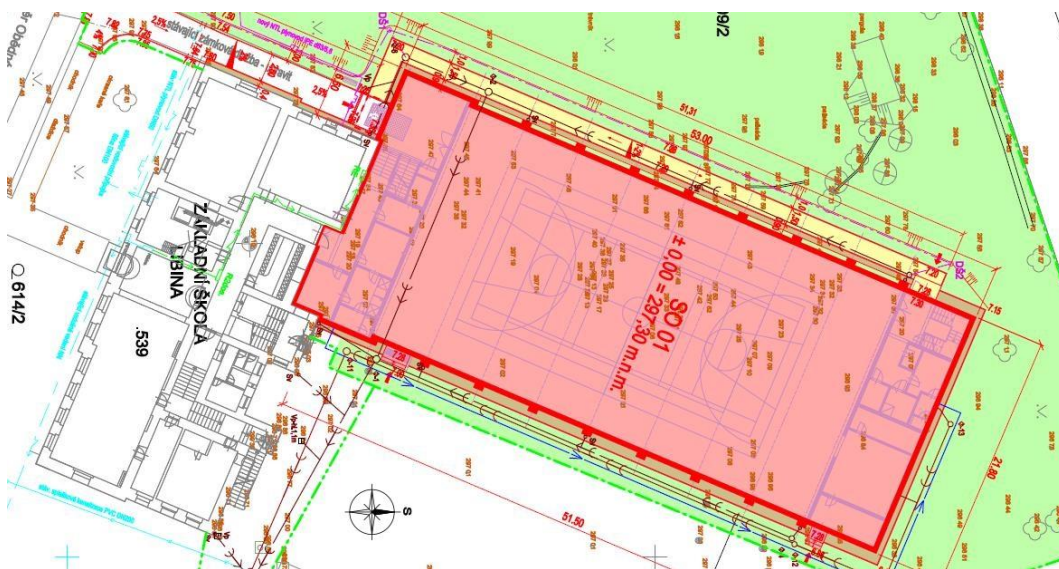
Bakalářská práce se zabývá statickou analýzou sportovní haly v Libině. Sportovní hala byla dostavěna 30.11.2015 podle projektové dokumentace firmy S.projekt plus a.s.. Projektová dokumentace slouží jako podklad pro tuto práci. Použité výkresy budou přiloženy v části příloh na CD viz Příloha č. 1. Model byl vypracován podle projektové dokumentace a má tedy co nejpřesněji nahradit skutečnou konstrukci sportovní haly. Model konstrukce bude podrobně popsán v části 2 Model konstrukce.

Model sportovní haly byl vytvořen v programu Dlubal RFEM 5.05, který slouží pro statické výpočty pomocí metody konečných prvků a umožňuje snadné modelování konstrukcí, posouzení statiky a navrhování rovinných i prostorových konstrukcí. V rámci programu budou využity potřebné přídatné moduly.

Bakalářská práce řeší celý objekt sportovní haly včetně interakcí s podložím a je rozdělena do osmi částí. V první části je popis rozměrového řešení sportovní haly. V druhé části je řešen způsob modelování konstrukce, a proto je dále členěn na podrobnější části. Ve třetí části je materiálové řešení nosných konstrukcí. Ve čtvrté části jsou řešeny zatěžovací stavy a v páté části kombinace zatěžovacích stavů. V šesté části jsou řešeny parametry výpočtového softwaru Dlubal RFEM. V sedmé části je vyhodnocení výsledků a v poslední osmé části závěr bakalářské práce.

1. Popis objektu

Analyzovaným objektem je sportovní hala, kterou tvoří tělocvična a navazující zázemí. Sportovní hala je o maximálních rozměrech 53,0x22,6 m s výškou hřebene 10,9 m. Hlavní hala tělocvičny je o rozměrech 40,2x21,8 m a se světlou výškou 7,0 m. Zázemí haly je v krajních štítových částech haly, které jsou děleny na tři podlaží o konstrukčních výškách 3,0 m. První (jihozápadní) část o rozměrech 6,1-7,1x22,6 m je přímo připojena k základní škole, která obsahuje zázemí pro učitele. Druhá (severovýchodní) část o rozměrech 6,5x21,8 m je určena pro žáky a veřejnost, která obsahuje sklad sportovních pomůcek a šatny. Podrobné uspořádání a návaznost na okolí je převzata z projektové dokumentace viz Příloha č. 1.



Obr. 1 Výřez koordinačního výkresu



Obr. 2 Západní pohled na stavbu

2. Model konstrukce

Model sportovní haly byl vytvořen v program Dlubal RFEM 5.05. Jedná se o prostorový model, který je tvořen pruty, desky a tělesy. Rozměry a dimenze prvků byly převzaty z projektové dokumentace viz Příloha č. 1. Model je modelován tak, aby co nejpřesněji zobrazoval skutečnou stavbu, proto v určitých částech jednotlivých konstrukcí budou zobrazeny možné způsoby modelování a vytvoření jejich variant. Varianty budou zjednodušené a bude vybrána ta z nich, která nejlépe charakterizuje skutečnou konstrukci a udává nejpřesnější výsledky.

2.1 Posouzení modelování prutových částí

Vytvoření variant bylo provedeno nezávisle na modelu sportovní haly. Tyto varianty jsou využity pouze pro porovnání výsledků, z nichž bude vybrána varianta, která bude co nejpřesněji odpovídat skutečnému stavu. Geometrie jednotlivých variant je stejná, liší se pouze nastavenou excentricitou. Výsledky jednotlivých modelů budou přiloženy v části příloh. Z variant podle výsledků bude zvolena jedna varianta, která bude použita jako způsob modelování prutových prvků vyskytujících se ve sportovní hale.

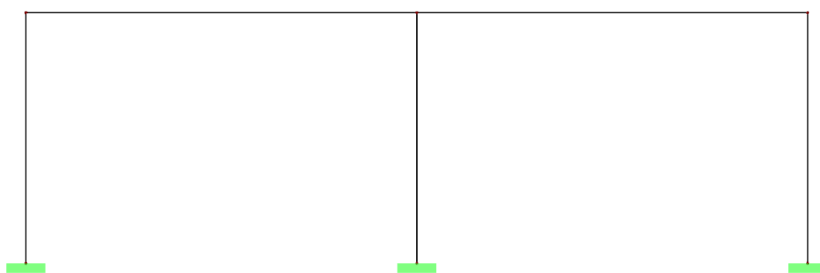
Zatížení je modelováno rovnoměrné svislé (ZS1) a vodorovné (ZS2). Intenzita zatížení je nastavena na 10kN/m. U variant, kde je délka prutu zkrácena bylo zatížení přepočítáno na stejnou intenzitu zatížení. Varianty se stejnou geometrií, ale rozdílnou intenzitou budou označeny číselným indexem.

2.1.1 Geometrie variant

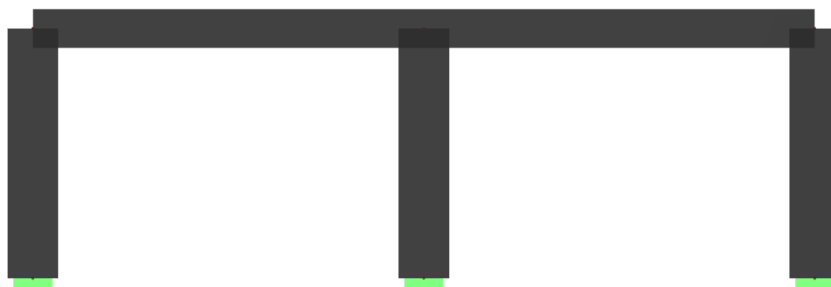
Pro vytvoření modelu je potřeba u věnců a základů nastavit horní excentricitu prutu. Pokud by excentricita nebyla nastavena, překrývaly by se prutové prvky s plošnými.

2.1.1.1 Varianta A

Varianta A je modelována střednicově bez excentricit. Tato varianta nesplňuje geometrické požadavky, překrývající se prvky, proto nebude dále použita. Bude pouze sloužit pro porovnání výsledků s ostatními variantami.



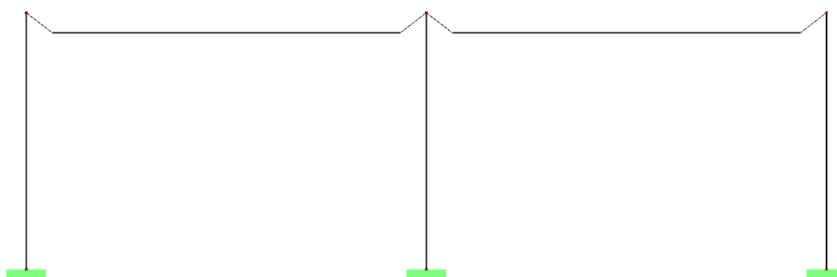
Obr. 3 Varianta A – Drátěný model



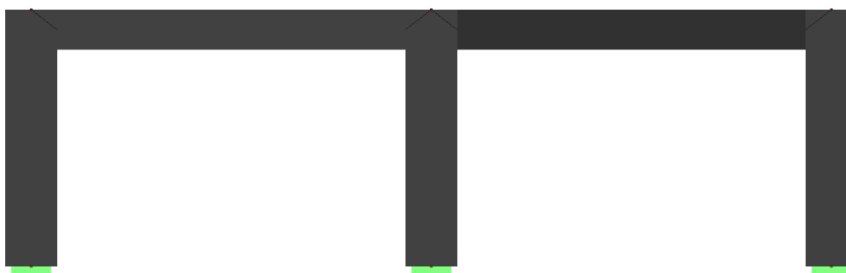
Obr. 4 Varianta A – Transparentní model

2.1.1.2 Varianta B

Varianta B je modelována střednicově s nastavenou excentricitou vodorovných prutů. Excentricita je nastavena horní a s axiálním odsazením prutů.



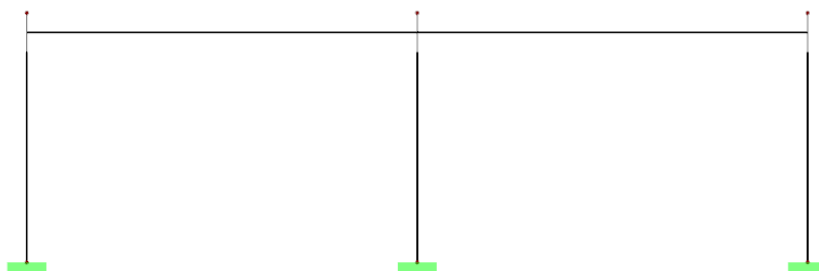
Obr. 5 Varianta B – Drátěný model



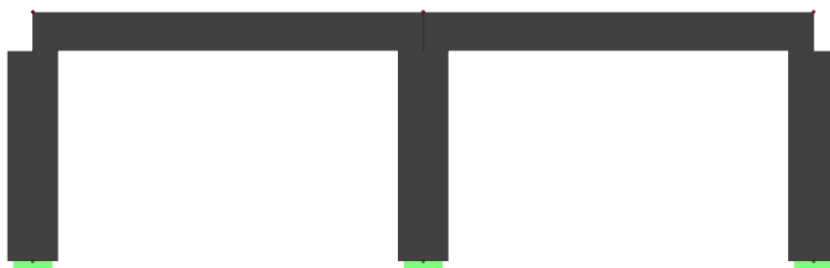
Obr. 6 Varianta B – Transparentní model

2.1.1.3 Varianta C

Varianta C je modelována střednicově s nastavenou excentricitou vodorovných i svislých prutů. Excentricita vodorovných prutů je nastavena horní a excentricita svislých prutů s axiálním odsazením.



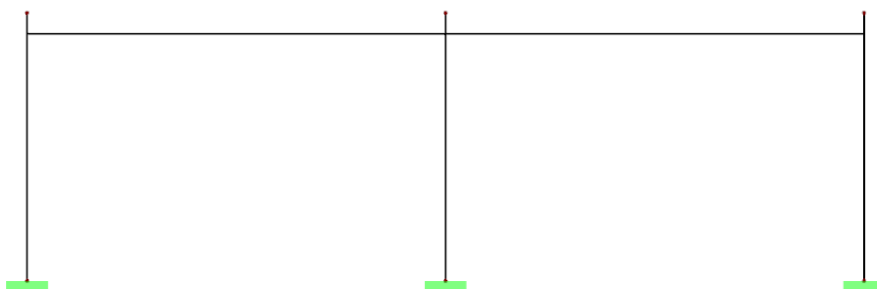
Obr. 7 Varianta C – Drátěný model



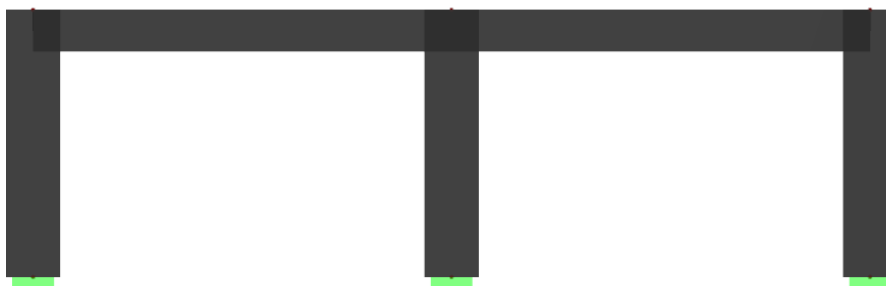
Obr. 8 Varianta C – Transparentní model

2.1.1.4 Varianta D

Varianta D je modelována střednicově s nastavenou excentricitou vodorovných prutů. Excentricita vodorovných prutů je nastavena horní. Pruty se překrývají přes výšku vodorovných prutů.



Obr. 9 Varianta D – Drátěný model



Obr. 10 Varianta D – Transparentní model

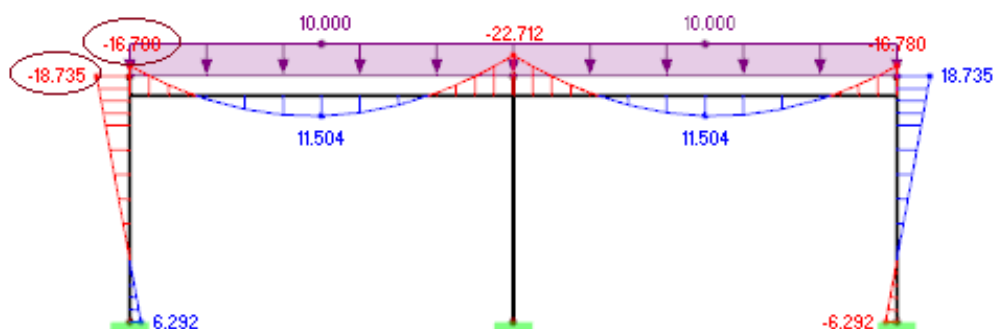
2.1.2 Výsledky variant

Výsledky jednotlivých variant se poměrně lišily, a proto podrobné výsledky všech variant budou přidány jako jednotlivé přílohy. Část výsledků bude porovnána níže v Tab. 1. Porovnávané hodnoty budou průběhy momentů, které se nachází v levém horním styčniku rámu od jednotlivých zatížení.

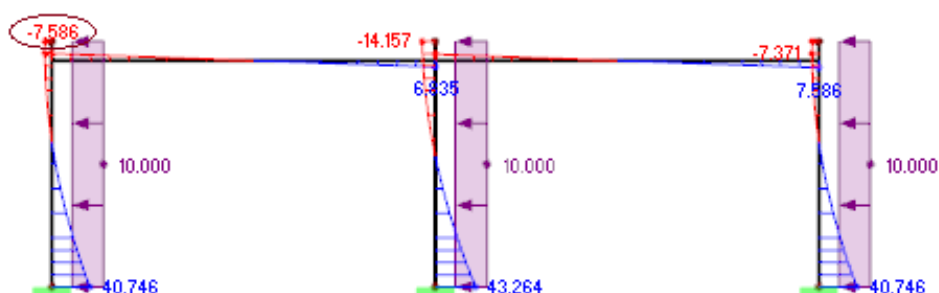
	Zatížení [kN/m]		Moment v krajním styčniku [kNm]			
			Svislé zatížení ZS1		Vodorovné zatížení ZS2	
	Svislé	Vodor.	Svislý prut	Vodorovný prut	Svislý prut.	Vodorovný prut.
A	10.00	10.00	-17.495	-17.495	-7.570	-7.547
B1	10.00	10.00	-19.062	-10.581	-8.642	-7.780
B2	11.50	10.00	-21.921	-12.168	-8.642	-7.780
C1	10.00	10.00	-21.788	-15.958	-6.773	-6.177
C2	10.00	11.85	-21.788	-15.958	-8.026	-7.320
D	10.00	10.00	-18.735	-16.780	-7.371	-7.586

Tab. 1. Vybrané výsledky M [kNm] na variantách A – D

Z výsledků všech variant vychází, že nastavená excentricita má výrazný vliv na vnitřní síly. Po porovnání variant byla vybrána varianta D, která splňuje geometrické požadavky a vychází nej přesněji k variantě A, která je bez excentricit.



Obr. 11 Varianta D – průběhy momentů od svislého zatížení



Obr. 12 Varianta D – průběhy momentů od vodorovného zatížení

2.2 Podloží

Jelikož se jedná o poměrně rozsáhlou stavbu, byl proveden firmou Centroprojekt a.s. geologický průzkum viz Příloha č. 1. Pro účely bakalářské práce byly použity převzaté vlastnosti zemín viz Obr. 13 a zjištěný geologický profil zemín.

2.2.1 Geologický profil a vlastnosti zemín

- 0,0 - 1,8 m (1,8 m) F6 Jílovité hlíny CL
- 1,8 - 4,7 m (2,9 m) F8 Písčité jíl CV
- 4,7 - 5,3 m (0,6 m) F2 Štěrkovitý jíl CG
- 5,3 - 6,5 m (1,2 m) G3 Štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy GF
- 6,5 - 8,0 m (1,5 m) F2 Štěrkovitý jíl CG
- 8,0 - / m (- m) F2 Štěrkovitý jíl CG

Podzemní voda naražená je v hloubce 1,7 m a ustálená je v hloubce 1,5 m.

1.2.1 Půdní materiály						
Podloží č.	A	B	Objemová tíha		Modul přetvámosti	Poissonův součinitel
	Označení podloží		γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	E_{def} [MPa]	ν [-]
1	F6 - Konzistence měkká		21.00	21.00	2.250	0.40
2	F8 - Konzistence tuhá		15.00	20.50	3.000	0.42
3	F2 - Konzistence tuhá		19.50	19.50	11.000	0.35
4	G3 - Středně ulehlá		19.00	19.00	85.000	0.25
5	F2 - Konzistence pevná $S_r > 0,8$		19.50	19.50	11.000	0.35

Obr. 13 Vlastnosti zemín

2.2.2 Modelování podloží (plošná podpora) RF-SOILIN

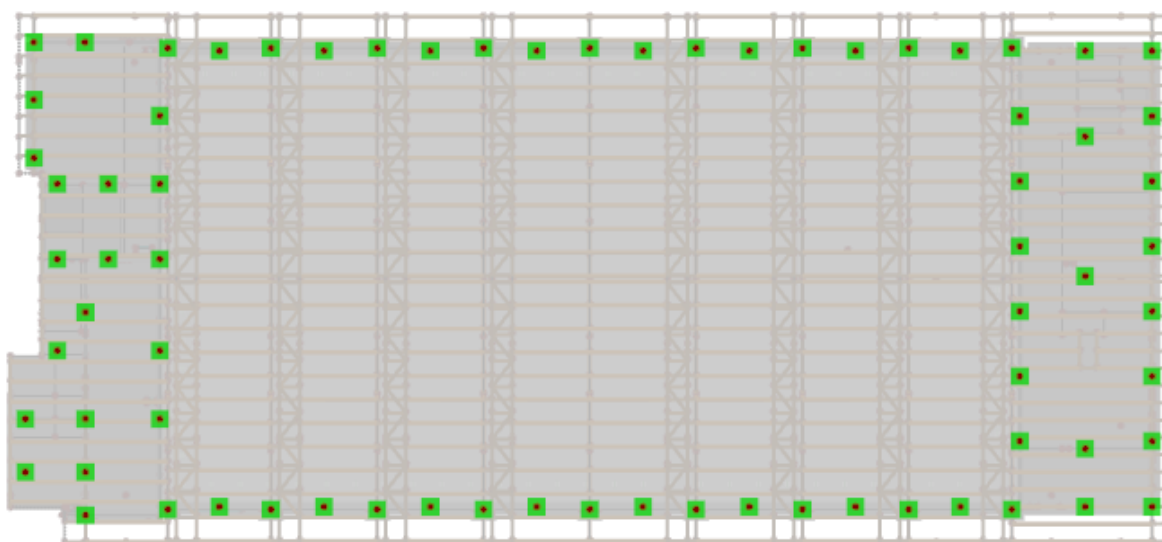
Přídavný modul RF-SOILIN programu RFEM, umožňuje provést značně realistické výpočty sedání. Tento modul stanovuje přesné hodnoty parametrů C_1 a C_2 , které budou stanoveny na základě zatížení podle rozhodujícího zatěžovacího stavu (kombinace) viz část 5.1 a na základě údajů z geologického průzkumu (sondy) viz část 2.2.1. Tyto parametry přiřazuje plošným prvkům se stykem s podložím. Výpočet probíhá iteračním způsobem, proto jsou hodnoty sedání i vnitřních sil v modelu konstrukce co nejpřesnější.

2.3 Základy

Geometrie základů a rozmístění podpor (pilot) bylo vymodelováno na základě projektové dokumentace viz Příloha č. 1. Základy jsou vytvořeny z železobetonu (materiál č. 1.) a podkladní deska tělocvičny z drátko-betonu (materiál č. 3.) Tyto materiály budou definovány v části 3.

2.3.1 Hlubinné (piloty)

Plošné základy jsou podepřeny třemi typy samostatných pilot. Piloty typu VP1 (uzlová podpora č. 4) o profilu 0,8 m a délce 8 m, VP2 (uzlová podpora č. 2, č. 3) o profilu 0,8 m a délce 7 m a VP3 (uzlová podpora č. 1) o profilu 0,6 m a délce 7 m. Pro model bakalářské práce byly piloty nahrazeny jako uzlové podpory, které odebírají všechny stupně volnosti, což představuje vetknutí. Vlastní modelování a posouzení pilot není obsahem bakalářské práce.



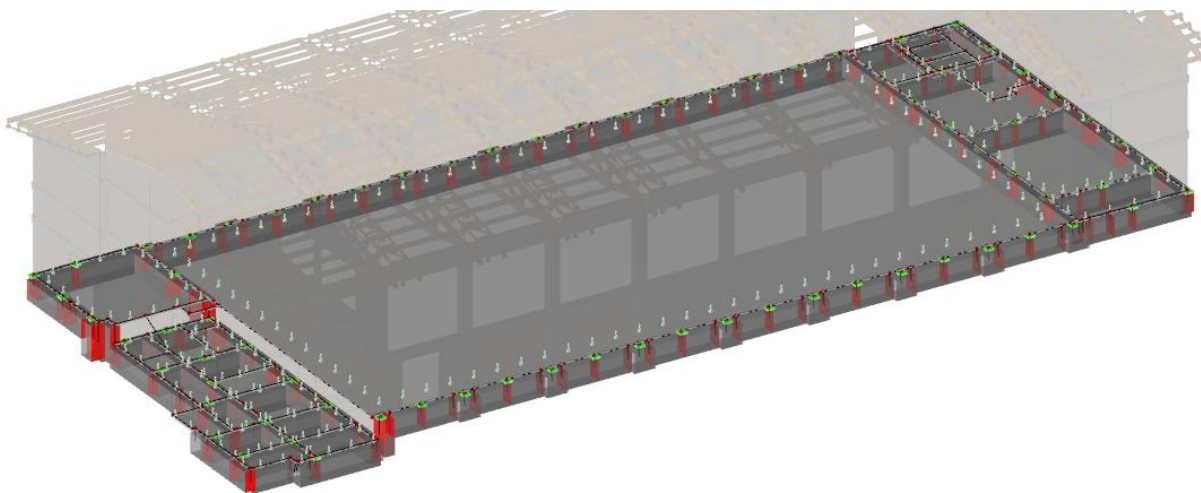
Obr. 14 Rozmístění pilot (uzlových podpor)

2.3.2 Plošné

Pro model bakalářské práce byly vypracovány dvě varianty modelování základů. První varianta byla vypracována pomocí 2D prvků (prutů a desek) a druhá varianta jako 3D prvky (tělesa). V závěru bakalářské práce budou obě varianty porovnány a podle vyhodnocení bude výsledný model dále analyzován.

2.3.2.1 2D prvky

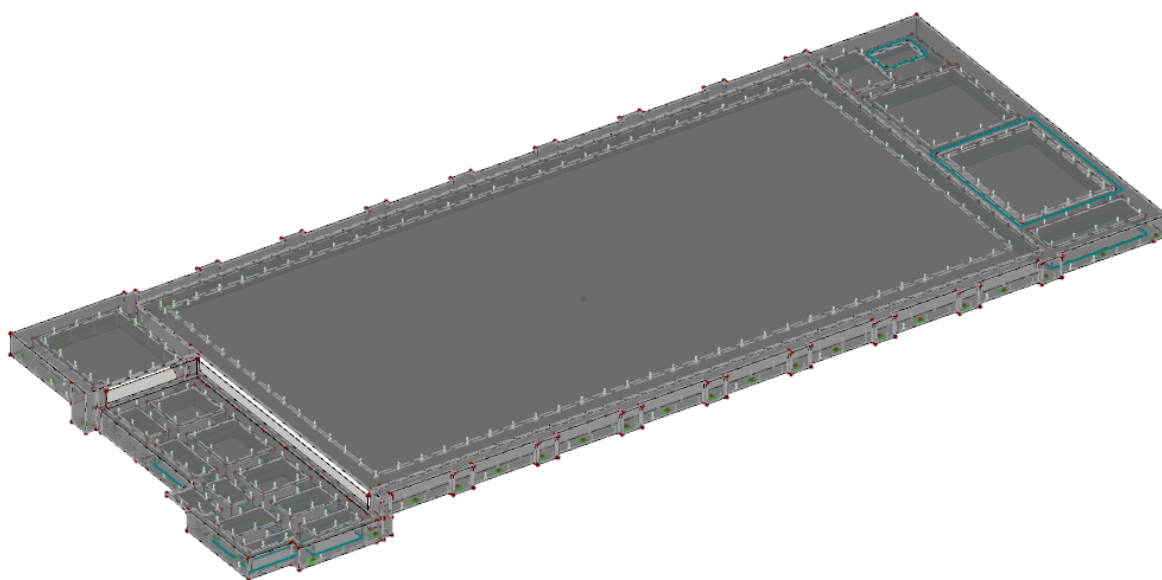
Geometrie základů je tvořena pomocí prutů (základové pasy) s průřezy č. 1-7 a desek (podkladní beton) plochy č. 28, 31, 38, 57, 63, 65, 76, 87, 88, 96, 98-100, 114, 115, 120, 123, 124, 550-553. Desky jsou podepřeny plošnými podporami viz část 2.2.2 a na ně navazují pruty podepřeny uzlovými podporami viz část 2.3.1.



Obr. 15 Základy 2D prvky

2.3.2.2 3D prvky

Základy jsou vytvořeny jako 3D prvky tvořené hraničními nulovými plochami č. 180, 182, 272, 276, 341-539, 541, 555-557. Základy jsou podepřeny plošnými podporami viz část 2.2.2 a uzlovými podporami viz část 2.3.1.



Obr. 16 Základy 3D tělesa

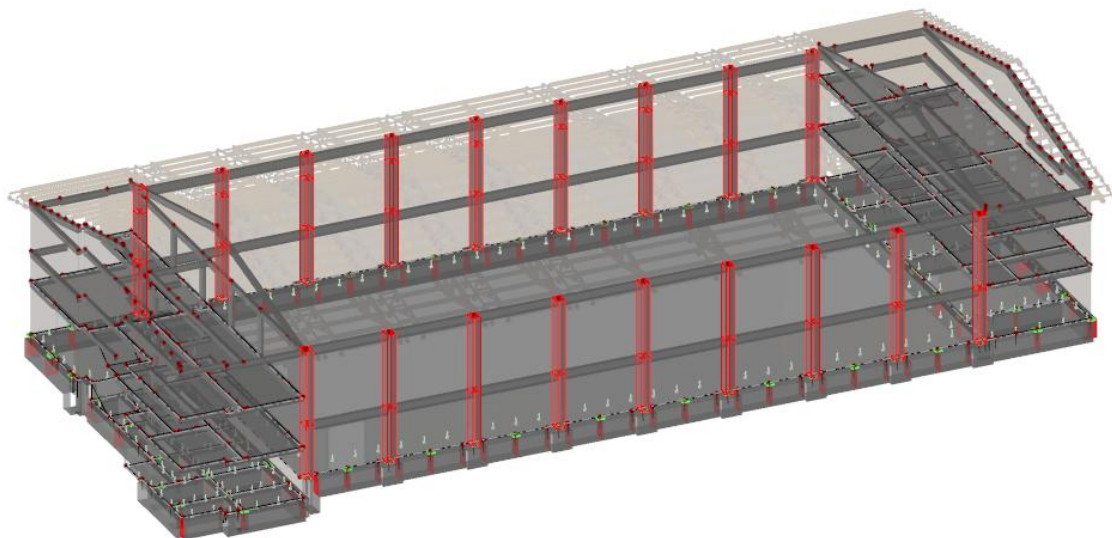
2.4 Svislé nosné konstrukce

V objektu se nachází dva typy svislých prvků. Železobetonové sloupů a nosné keramické zdivo. Rozměry a průřezy byly převzaty z projektové dokumentace viz Příloha č. 1.

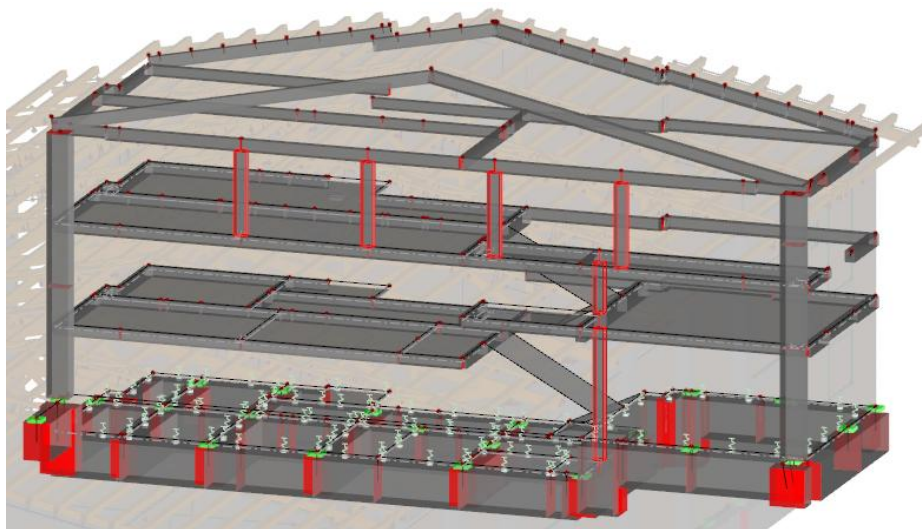
2.4.1 Sloupů

V objektu se nachází tři typy železobetonových sloupů (materiál č. 1). První typ sloupů jsou hlavní nosné sloupů v části obvodových stěn haly, které poskytují podepření vazníků.

Sloupy jsou v osové vzdálenosti 5 m a o rozměrech 0,5x0,65x7,67 m průřez č. 8. Druhý typ sloupů se nachází v první (jihozápadní) části ve třetím patře. Tyto sloupy umožňují vytvoření volného prostoru pro ochoz, který umožňuje výhled na tělocvičnu. Sloupy jsou v osové vzdálenosti 3,75 m o rozměrech 0,25x0,35x2,45 m průřez č. 15. Třetí typ sloupů je v místě schodiště, v první (jihozápadní) části, který je dělen patrem na dvě části o rozměrech 0,3x0,3x3,8 m a 0,3x0,3x1,45 m průřez č. 37.



Obr. 17 Hlavní nosné sloupy průřez č. 8

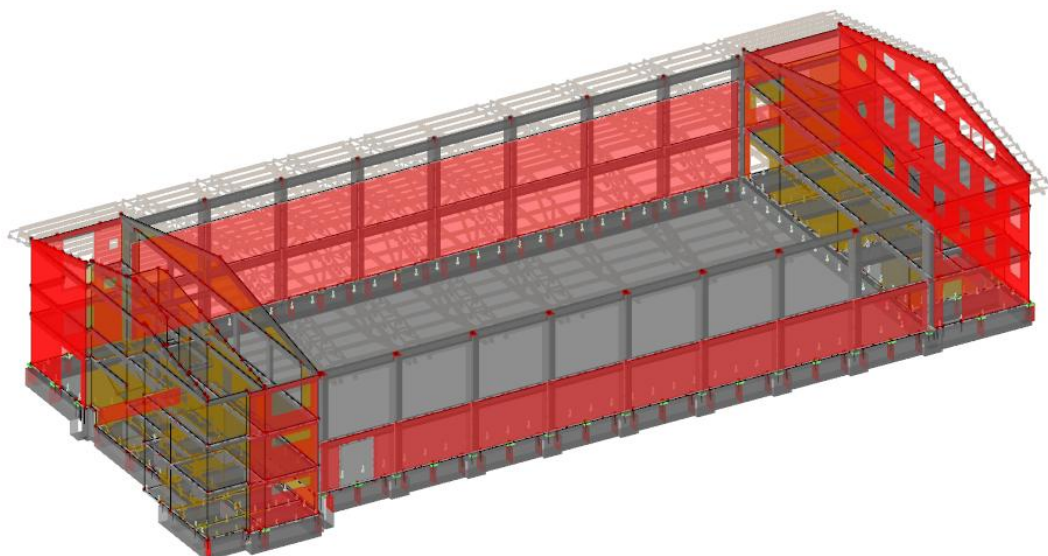


Obr. 18 Zbývající sloupy průřez č. 15 a č. 37

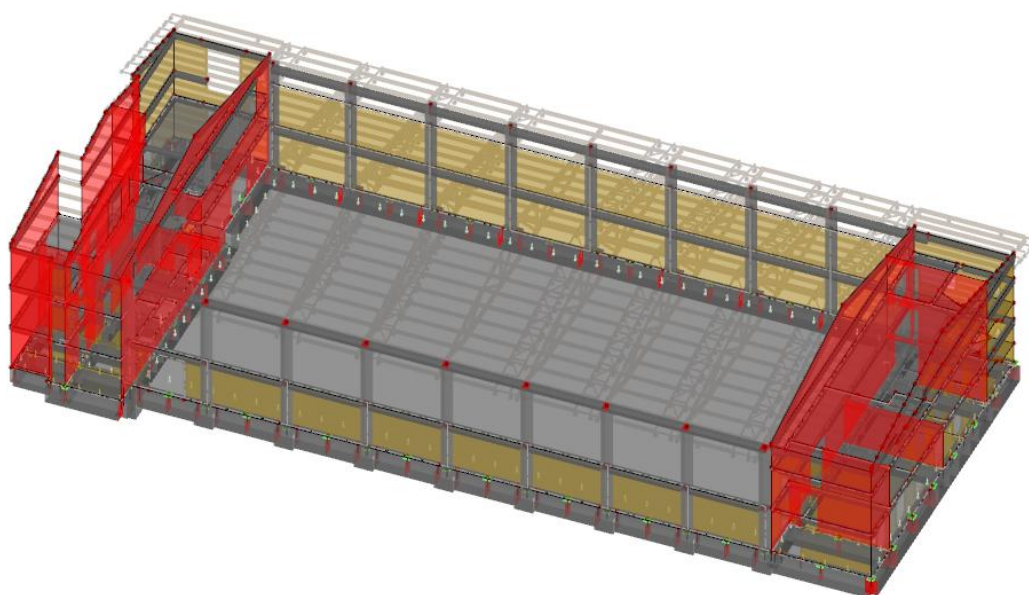
2.4.2 Stěny

Stěny jsou tvořeny z keramického zdiva a jsou děleny na nosné obvodové a vnitřní nosné zdivo. Obvodové zdivo je tloušťky 400 mm (materiál č. 4), plochy č. 1-21, 35-37, 45, 55, 81-84, 126-128, 132-139, 143, 144. Vnitřní nosné zdivo tloušťky 250 mm (materiál č. 5), plochy č. 22, 46-48, 50-54, 60-62, 69-75, 77-80, 85, 89-92, 94, 95, 101, 104, 107-113, 116-118, 125, 129-131, 140-142, 145, 147, 149.

Okna, dveře a prostupy jsou řešeny jako otvory v jednotlivých plochách.



Obr. 19 Obvodové zdivo



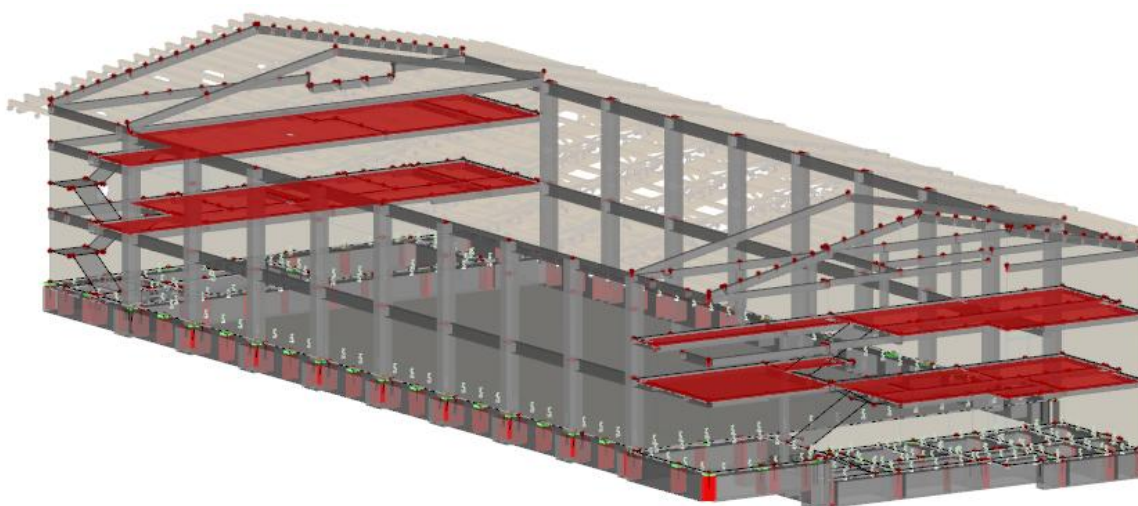
Obr. 20 Vnitřní zdivo

2.5 Vodorovné konstrukce

Jedná se o stropní konstrukce především o stropní desky a věnce, které jsou tvořeny železobetonem (materiál č. 1). Geometrie a rozměry jednotlivých vodorovných konstrukcí byly převzaty z projektové dokumentace viz Příloha č. 1.

2.5.1 Stropní desky

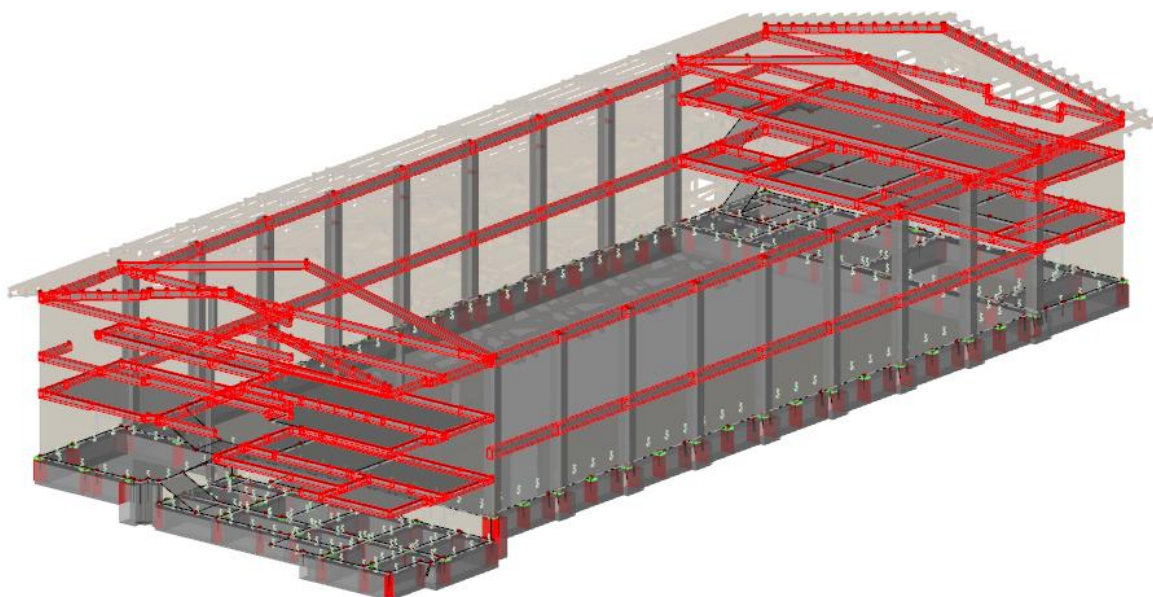
Stropní konstrukce jsou navrženy jako monolitické desky tloušťky 220 mm. Uložení stropních desek je řešeno přes věnce na nosné zdivo. Stropy ve všech patrech jsou tvořeny plochami č. 29, 30, 39, 49, 58, 67, 86, 93, 97, 102, 103, 105, 106, 119, 121, 122, 542-549.



Obr. 21 Stropní desky

2.5.2 Železobetonové věnce, průvlaky

Železobetonové věnce jsou řešeny ve všech výškách stropu na nosných zdech a v obvodovém plášti tělocvičny v úrovni prvního nadzemního podlaží a v úrovni třetího nadzemního podlaží. V místě oken, dveří a větších prostupů jsou věnce zvětšeny na jednotlivé průvlaky. V místech, kde je otvor, ale není průvlak (věnec), je otvor překlenut prefabrikovanými překlady (v modelu se nevyskytují, řešeno jako plocha s otvorem bez dalších úprav). Průřezy č. 9-14, 16-36, 38-53, 55 zastupují věnce a průvlaky.



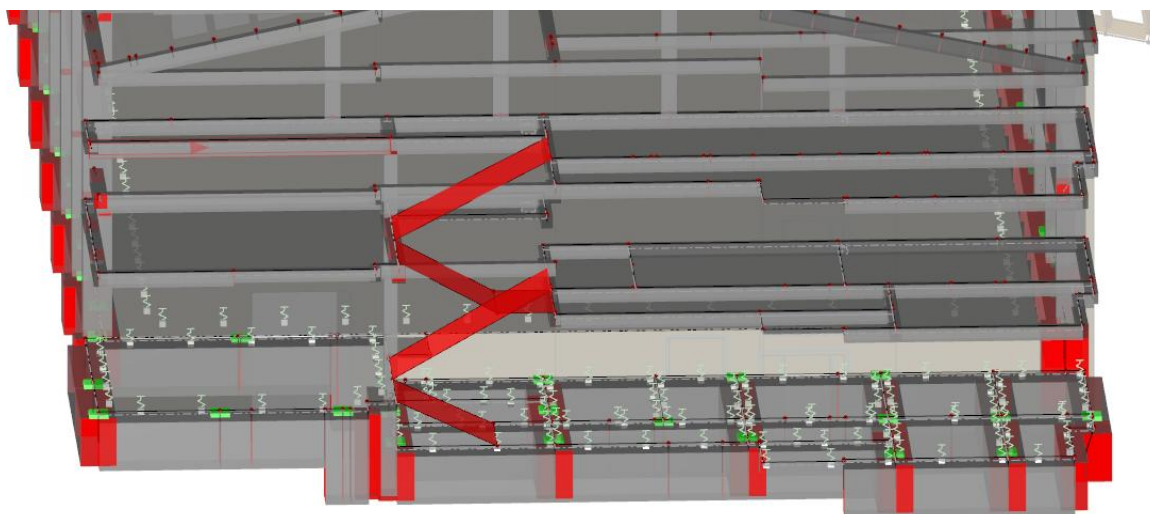
Obr. 22 Věnce a průvlaky

2.6 Schodiště, výtahy

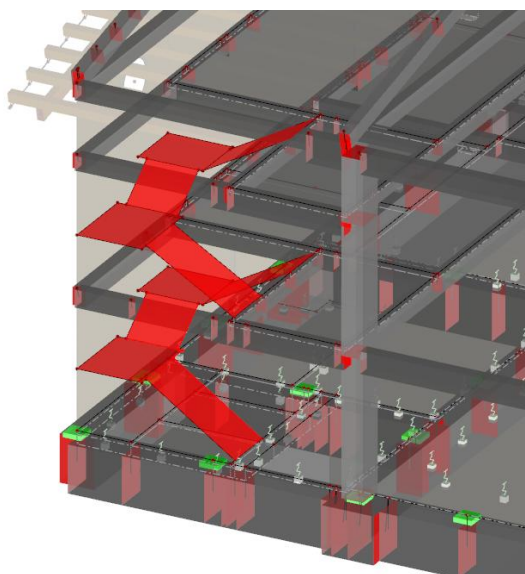
V modelu se vyskytují celkově dvě železobetonová schodiště (materiál č. 1) a jeden výtah. Geometrie a rozměry schodišť byly převzaty z projektové dokumentace viz Příloha č. 1.

V první (jihozápadní) části sportovní haly je schodiště řešeno jako dvouramenné železobetonové tloušťky 160 mm s nadbetonovanými stupni s konstrukční návazností na průvlaky a stropní desky jednotlivých podlaží Obr. 23.

V druhé (severovýchodní) části sportovní haly je schodiště řešeno jako trojramenné železobetonové tloušťky 160 mm. Schodišťové desky jsou uloženy na okolním navazujícím nosném zdivu a s konstrukční návazností na schodišťové průvlaky a stropní desky jednotlivých podlaží viz Obr. 24. V této části sportovní haly v prostoru zrcadla schodiště se nachází výtah. Konstrukce výtahu není v modelu řešena, pouze se počítá s přitížením základové konstrukce v části 4.1.2.5.



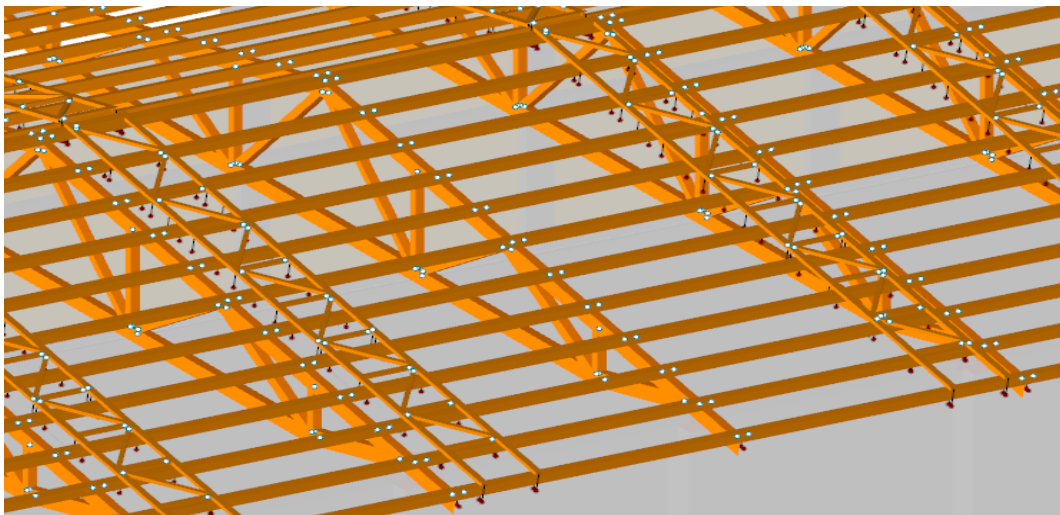
Obr. 23 Schodiště v první (jihozápadní) části



Obr. 24 Schodiště v druhé (severovýchodní) části

2.7 Střešní konstrukce

Střešní konstrukce se dělí na dvě významné části. První část - zastřešení haly tělocvičny a druhá část - zastřešení přilehlých částí tělocvičny. Geometrie a dimenze prvků byla převzata z projektové dokumentace viz Příloha č. 1.



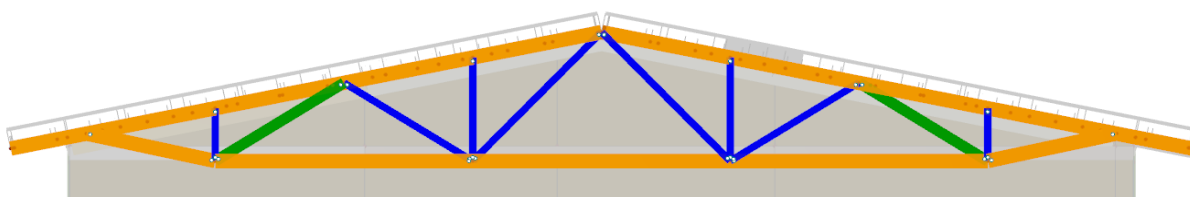
Obr. 25 Pohled na střešní konstrukci



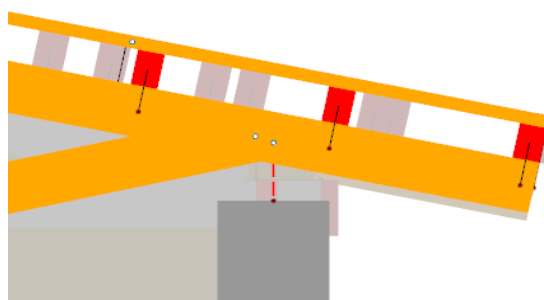
Obr. 26 Pohled na výstavbu skutečné střešní konstrukce

2.7.1 Zastřešení tělocvičny

Zastřešení haly tělocvičny je řešeno pomocí sedlových příhradových vazníků typu MKD se skrytými styčníky. Vazníky jsou tvořeny z lepeného lamelového dřeva (materiál č. 6) a skládá se ze tří průřezů. Dolní a horní pás o profilu 160x320 mm průřez č. 56 (Obr. 27 – oranžová), dále z diagonál a sloupků o profilu 160x160 mm průřez č. 58 (Obr. 27 - modrá) a diagonál o profilu 160x240 mm průřez č. 57 (Obr. 27 - zelená). Vazníky jsou kotveny do železobetonových sloupů viz část 2.4.1 pomocí kotvicího systému vazníků dle výrobce. V modelu je kotvicí systém nahrazen jako vazba vetknutí - kloub viz Obr. 28. Na vazníky jsou kloubově uloženy vaznice o profilech 160x220 mm z rostlého dřeva (materiál č. 2).

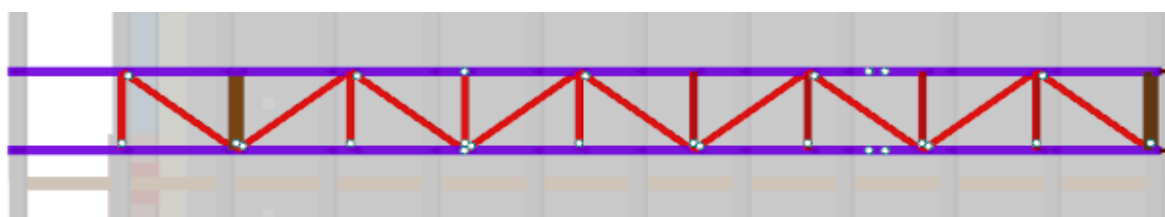


Obr. 27 Pohled na vazníky



Obr. 28 Napojení vazníku na sloup (vazba vetknutí - kloub)

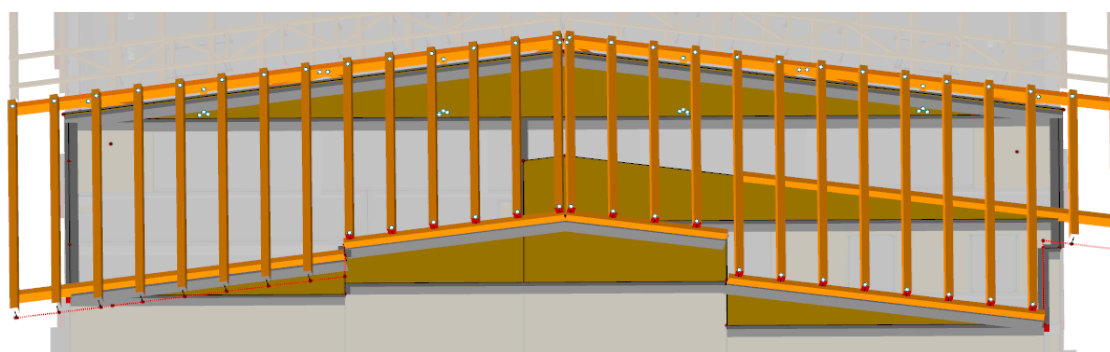
Na vaznice dále navazují vodorovná příhradová ztužidla z rostlého dřeva (materiál č. 7). Horní a dolní pás o profilech 115x80 mm průřez č. 64 (Obr. 29 - fialová), diagonály a sloupky o profilech 80x80 mm průřez č. 63 (Obr. 29 - červená) a příčné výztuhy o profilech 160x80 mm průřez č. 65 (Obr. 29 - hnědá).



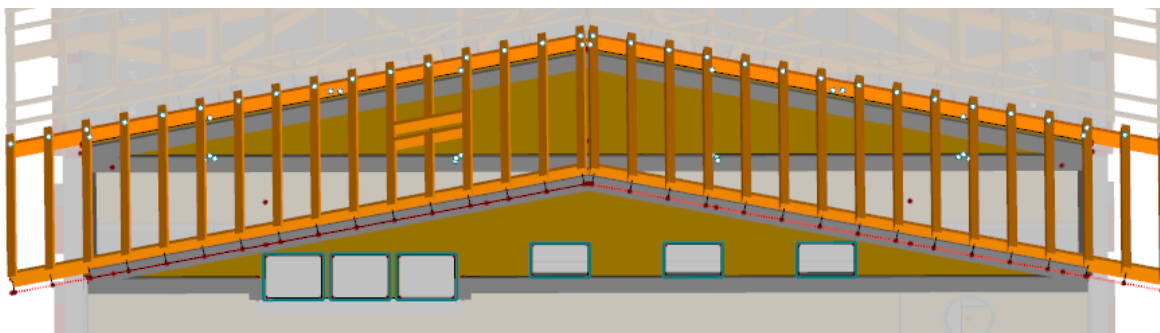
Obr. 29 Vodorovné příhradové ztužidlo

2.7.2 Přilehlé části tělocvičny

V krajních částech tělocvičny jsou vazníky nahrazeny masivními dřevěnými vaznicemi o rozměrech 160x220 mm průřez č. 60, které jsou přímo kotveny do železobetonového věnce. Z vnitřní strany jsou uloženy na dřevěné lamelové vazníky viz 2.7.1. Na vazníky jsou opět kloubově uloženy vaznice o rozměrech 180x220 mm průřez č. 62.



Obr. 30 Zastřešení první (jihozápadní) části tělocvičny



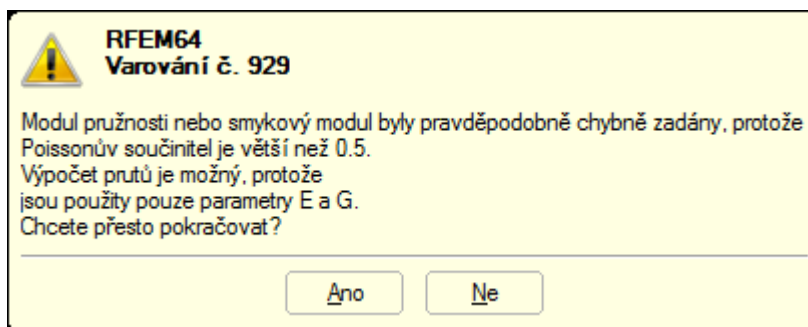
Obr. 31 Zastřešení druhé (severovýchodní) části tělocvičny

3. Materiály

Materiály a jejich vlastnosti byly převzaty z projektové dokumentace viz Příloha č. 1. Při zadávání dřevěných materiálů jsem zjistil, že poissonův součinitel ν má hodnotu větší než 0,5, což neodpovídá realitě. Avšak zjištěná hodnota ν zadaná pro RFEM je v pořádku, jelikož jsou správně zadány hodnoty modulu pružnosti E a smykového modulu G , které mají mezi sebou závislost $G = E/(2*(1+\nu))$ pomocí poissonova součinitele ν . I program RFEM na tuto chybu upozornil viz Obr. 33. Součinitel spolehlivosti materiálu byl u všech materiálů nastaven na hodnotu $\gamma_M = 1,00$.

Materiál č.	A Materiál Označení	B Modul pružnosti E [MPa]	C Smykový modul G [MPa]	D Poissonův ν [-]	E Objemová tíha γ [kN/m ³]	F Souč. teplot. roz α [1/K]	G Souč. spolehlivosti γ_M [-]	H Materiál Model
1	Beton C25/30 EN 1992-1-1:	31000.000	12916.700	0.200	25.00	1.00E-05	1.00	Izotropní lineárně elastický
2	Topolové a jehličnaté dřevo	11000.000	690.000	6.971	4.20	5.00E-06	1.00	Izotropní lineárně elastický
3	Beton C25/30-drátka EN 19	31000.000	12916.700	0.200	25.00	1.00E-05	1.00	Izotropní lineárně elastický
4	Zdivo 400 (Cihla, Skupina 2,	5330.000	2220.830	0.200	12.72	6.00E-06	1.00	Izotropní lineárně elastický
5	Zdivo 250 (Cihla, Skupina 2,	5300.000	2208.330	0.200	12.72	6.00E-06	1.00	Izotropní lineárně elastický
6	Lepené lamelové dřevo GL28	12600.000	780.000	7.077	4.00	5.00E-06	1.00	Izotropní lineárně elastický
7	Topolové a jehličnaté dřevo	11000.000	690.000	6.971	4.20	5.00E-06	1.00	Izotropní lineárně elastický

Obr. 32 Výpis materiálů a jejich vlastností



Obr. 33 Varování RFEMu při definování materiálu dřevěných prvků

4. Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy a zatížení byly navrženy podle platných norem, které budou uvedeny k daným zatěžovacím stavům. Použité normy a literatury jsou uvedeny v části Literatura a normy.

4.1 Zatížení stálé

Zatížení stálé bylo navrženo podle normy [1].

4.1.1 ZS 1 - Vlastní tíha nosných konstrukcí

Vlastní tíha nosných konstrukcí je generována programem RFEM podle zadané geometrie a vlastností materiálu viz Obr. 32.

4.1.2 ZS 2 - Vlastní tíha nenosných konstrukcí

Nenosné konstrukce se v modelu nevyskytují, a proto je potřeba jejich tíhu doplnit.

4.1.2.1 Příčky

Příčky jsou stavěny z keramických tvárnic o dvou tloušťkách. Příčky tloušťky $t = 100 \text{ mm}$ o objemové tíze $\gamma = 950 \text{ kg/m}^3$ a příčky o tloušťce $t = 150 \text{ mm}$ o objemové tíze $\gamma = 870 \text{ kg/m}^3$. Výšky příček se dělí dle jednotlivých umístění. Hodnoty výšek a vlastního zatížení budou uvedeny v Tab. 2. Příčky jsou řešeny bez otvorů a prostupů.

	Tloušťka	Výška	Objemová tíha	Zatížení
Umístění	t [m]	h [m]	$\gamma [\text{kN/m}^3]$	g [kN/m]
1.NP a 2.NP	0.15	2.78	8.70	3.70
	0.10	2.78	9.50	2.70
3.NP - po podhled	0.15	2.65	8.70	3.50
	0.10	2.65	9.50	2.60
3.NP - po střeche	0.15	5.45	8.70	7.20
	0.10	5.45	9.50	5.20
Mezi patro	0.10	1.58	9.50	1.60
Pod schodištěm	0.15	2.78	8.70	3.70
	0.15	1.35	8.70	1.80
	0.10	2.78	9.50	2.70
	0.10	1.60	9.50	1.60

Tab. 2. Zatížení od příček

4.1.2.2 Podlahy

Ve sportovní hale se vyskytuje několik typů podlah s rozdílnými skladbami (KV). Pro každou skladbu bude uvedena jednotlivá tabulka. Plošné zatížení g_k je svislé na vodorovný průmět.

KV 1. - podlaha 1.NP	Tloušťka	Objemová tíha	Plošné zatížení
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Keramická dlažba	12	22.0	0.264
Cementová malta	3	21.0	0.063
Betonová mazanina	55	24.0	1.320
Folie PE	-	-	0.002
EPS 100	80	0.3	0.024
Folie hydroizolace x2	-	-	0.006
Celkem		g_k=	1.679

KV 2. - podlaha 1.NP	Tloušťka	Objemová tíha	Plošné zatížení
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Polyuretanový povrch	10	8.0	0.080
Anhydritová mazanina	50	21.0	1.050
Betonová deska (RFEM)	-	-	-
Folie PE	-	-	0.002
EPS 100	80	0.3	0.024
Folie hydroizolace x2	-	-	0.006
Celkem		g_k=	1.162

KV 3. - podlaha 1.NP	Tloušťka	Objemová tíha	Plošné zatížení
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Vinylová podlaha	10	10.0	0.100
Betonová mazanina	60	24.0	1.440
Folie PE	-	-	0.002
EPS 100	80	0.3	0.024
Folie hydroizolace x2	-	-	0.006
Celkem		g_k=	1.572

KV 4. – podlaha 2.NP a 3.NP	Tloušťka	Objemová tíha	Plošné zatížení
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Vinylová podlaha	10	10.0	0.100
Betonová mazanina	60	24.0	1.440
Folie PE	-	-	0.002
Kročejová izolace	30	0.3	0.009
Stropní k-ce (RFEM)	-	-	-
Omítka váp.cementová	10	18.0	0.180
Celkem		g_k=	1.731

KV 5. – podlaha 2.NP a 3.NP	Tloušťka	Objemová tíha	Plošné zatížení
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Keramická dlažba	12	22.0	0.264
Cementová malta	3	21.0	0.063
Betonová mazanina	55	24.0	1.320
Folie PE	-	-	0.002
Kročejová izolace	30	0.3	0.009
Stropní k-ce (RFEM)	-	-	-
Omítka váp.cementová	10	18.0	0.180
Celkem		$g_k =$	1.838

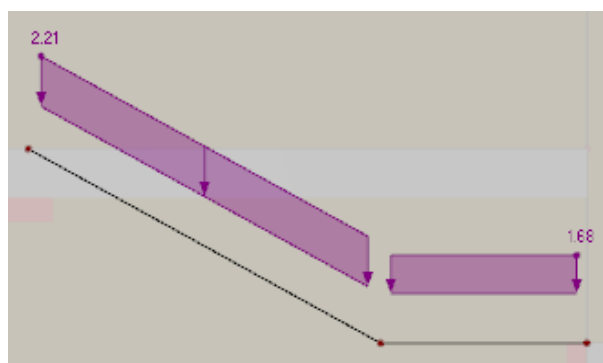
Tab. 3. Skladby podlah a jejich výsledné zatížení g_k

4.1.2.3 Schodiště

Zatížení na schodiště je vynášeno na rovinu schodišťových desek, proto je potřeba zatížení převést na správné hodnoty. Poměr byl sestaven z velikosti jednotlivých schodišťových stupňů $b = 300$ mm, $h = 167$ mm, což odpovídá poměru vodorovné ku šikmé rovině $= 1:1,445$. Výsledné zatížení tedy působí svisle na rovinu schodišťových desek.

KV 7 - Schodiště	Tloušťka	Objemová tíha	Zatížení na vodorovný průmět	Zatížení v rovině schodiště
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]	g [kN/m ²]
Keramická dlažba	12	22.0	0.264	0.183
Cementová malta	3	21.0	0.063	0.044
Nadbetonované stupně 300/167	75	24.0	2.601	1.800
ŽB deska (RFEM)	-	-	-	-
Omítka váp.cementová	10	18.0	0.260	0.180
Celkem			$g_k =$	2.206

Tab. 4. Skladba a zatížení na schodišťová ramena



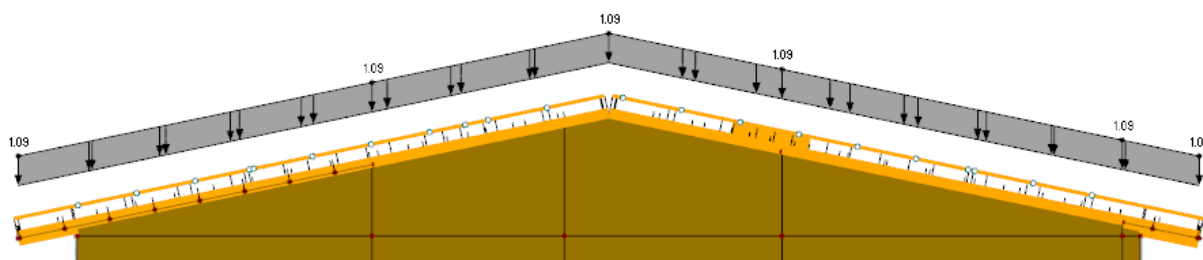
Obr. 34 Působení zatížení na schodišťové rameno a podestu

4.1.2.4 Střecha

Pro zastřešení sportovní haly je jednotná skladba střechy viz Tab. 5.

KV6 - Střešní konstrukce	Tloušťka	Objemová tíha	Plošné zatížení
Vrstva	tl. [mm]	γ [kN/m ³]	g [kN/m ²]
Plechová krytina	-	-	0.100
Plnoplošné bednění	30	8.0	0.240
Dřevěné hranoly (RFEM)/ vzduchová mezera	-	-	-
Difúzní fólie	-	-	0.002
Vazníky (RFEM)/tepelná izolace	240	2.0	0.480
Parozábranná fólie	-	-	0.002
Dřevěný rošt	60/40a1000	8.0	0.020
Plnoplošné bednění	30	8.0	0.240
Celkem		$g_k =$	1.084

Tab. 5. Skladba a zatížení střešního pláště



Obr. 35 Působení zatížení od střešního pláště

4.1.2.5 Ostatní (výťah, vzduchotechnika)

Výťah je umístěn v druhé (severovýchodní) části. Rozměry výťahové šachty jsou 1,3x2 m a o maximální výšce 10,2 m. Další informace nebyly z projektové dokumentace dohledány, a proto přetížení výťahovou konstrukcí je pouhý odhad podle rozměrů výťahové šachty. Přetížení tedy bylo stanoveno z odhadu celkové hmotnosti dvou tun, což odpovídá 7,7 kN/m² v oblasti výťahové šachty (zrcadla schodiště) na základovou konstrukci.

Vlastní tíha vzduchotechniky je zahrnutá jako užité zatížení viz část 4.2.1. Jelikož místnost se vzduchotechnikou nebude přístupná a nebude se v ní vyskytovat vysoká koncentrace lidí, proto by se zde užité zatížení neuvažovalo v takové intenzitě.

4.2 Zatížení proměnné

Proměnné zatížení je zatížení větrem a sněhem v jejich různých kombinacích, podle platných norem, které budou u každého jednotlivého zatížení uvedeny.

Objekt se nachází v okrese Šumperk v obci Libina.

4.2.1 ZS 3/ ZS16 - Užitné zatížení

Jednotlivé prostory a plochy byly zařazeny do jednotlivých kategorií podle normy [1]. Výsledné hodnoty pro jednotlivé plochy budou uvedeny v tabulce Tab. 6.

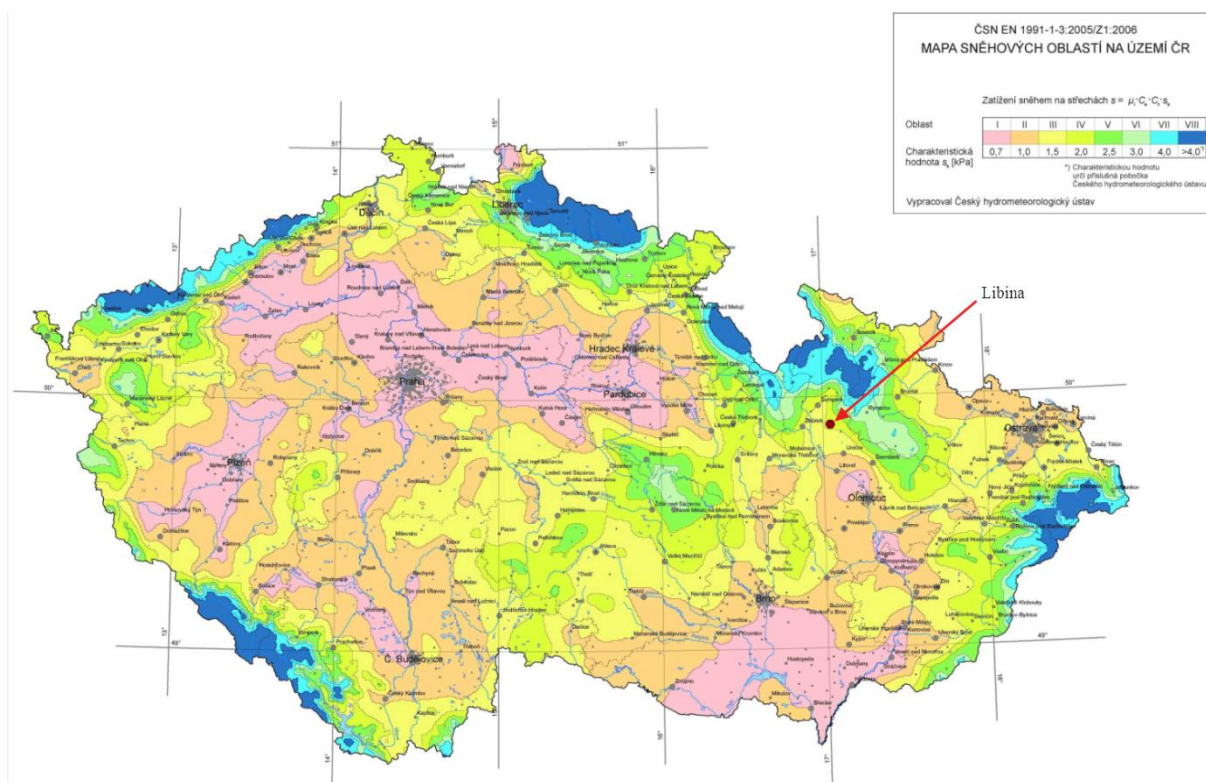
ZS 3 jsou všechna užitná zatížení bez zatížení na střešní konstrukci. ZS 16 je pouze zatížení na střešní konstrukci. Toto rozdělení bylo provedeno z důvodu pokynů normy [1] podle části 3.3.2 (1) Na střechách se nemá uvažovat současné působení užitných zatížení a zatížení sněhem nebo větrem. Řešeno v kombinacích výsledků část 5.

Účel místnosti/plochy	Kategorie	q_k [kN/m ²]
Hala tělocvičny	C4	5
Šatny	C1	3
Chodby a schodiště	A	3
Střecha	H	0.75

Tab. 6. Užitné zatížení jednotlivých místností/ploch

4.2.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem bylo vypracováno podle normy [2]. Výsledné hodnoty jsou uvedeny níže.



Obr. 36 Mapa sněhových oblastí

Tvarový součinitel $\mu_1 = 0,8$

Typ krajiny: Normální $c_e = 1$

Tepelný součinitel $c_t = 1$

Sněhová oblast: IV

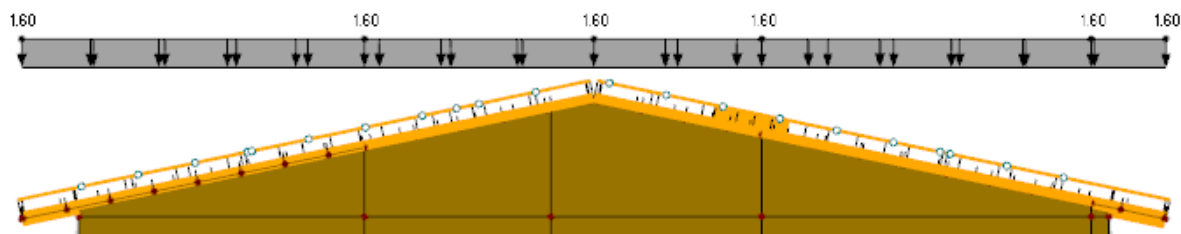
$$s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Celkové zatížení sněhem

$$s_1 = \mu_1 * c_e * c_t * s_k = 0,8 * 1 * 1 * 2 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

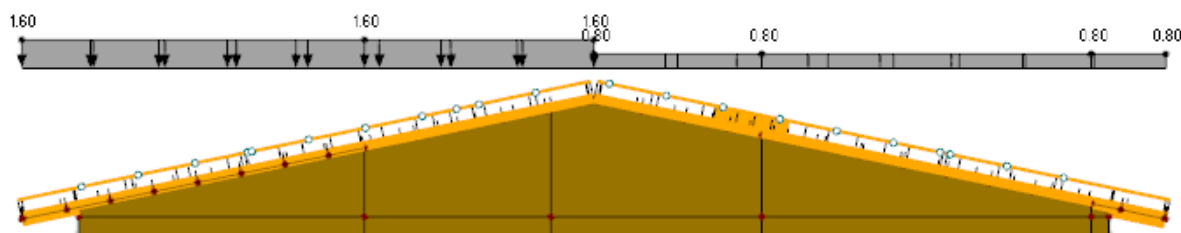
$$s_2 = s_1 / 2 = 1,6 / 2 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

4.2.2.1 ZS 4 - Sníh plný (1/1)



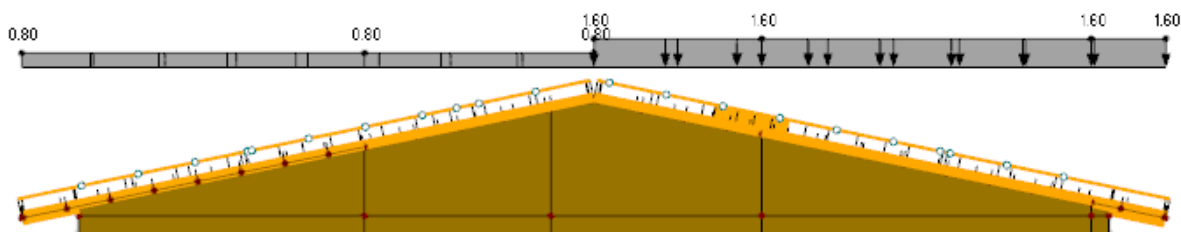
Obr. 37 Sníh plný

4.2.2.2 ZS 5 - Sníh levý (1/0,5)



Obr. 38 Sníh levý

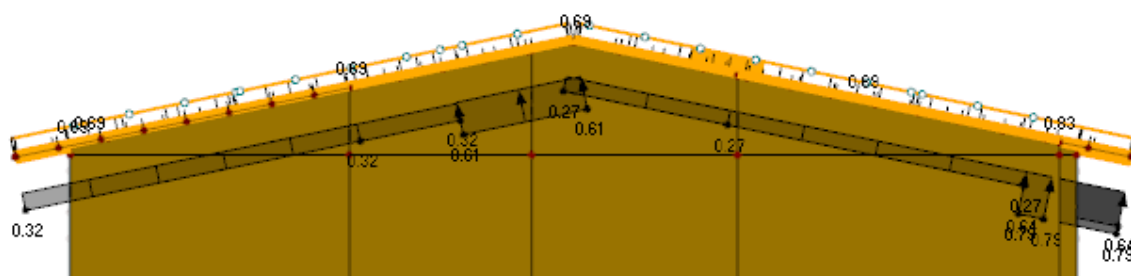
4.2.2.3 ZS 6 - Sníh pravý (0,5/1)



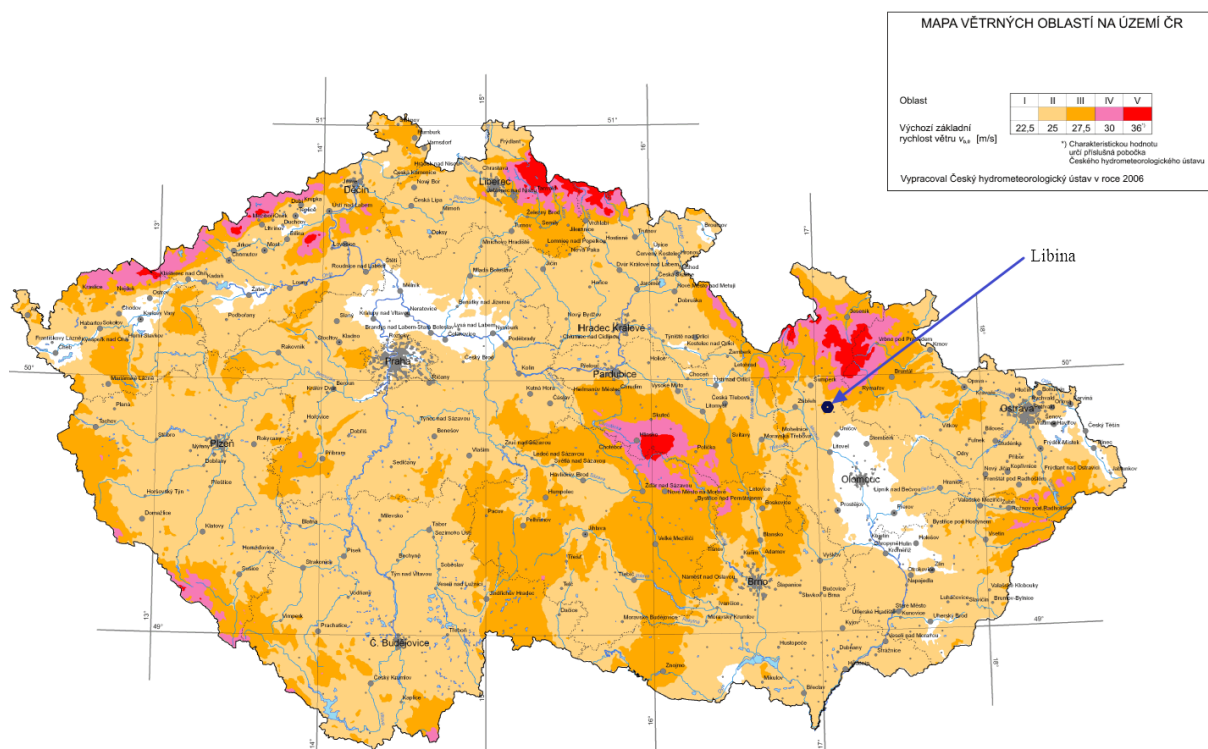
Obr. 39 Sníh pravý

4.2.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo vypracováno podle normy [3].



Obr. 40 Zobrazení zatížení větru na střechu (ZS7 – vítr -x -/-)



Obr. 41 Mapa větrných oblastí

Větrná oblast:

II.

Součinitel směru větru

$c_{dir} = 1$

Součinitel ročního období

$c_{season} = 1$

Výchozí základní rychlost

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Základní rychlost větru

$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$

Kategorie terénu

III.

Parametr drsnosti terénu

$z_0 = 0,3 \text{ m}$

Parametr drsnosti terénu kat. II.

$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

Minimální výška

$z_{min} = 5 \text{ m}$

Součinitel terénu

$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,2154$

Součinitel drsnosti

$c_r = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,2154 * \ln \left(\frac{10,87}{0,3} \right) = 0,7733$

Střední rychlost větru

$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,7733 * 1 * 25 = 19,34 \text{ m/s}$

Součinitel ortografie

$c_0(z) = 1$

Součinitel turbulence

$k_1 = 1$

Měrná hmotnost vzduchu

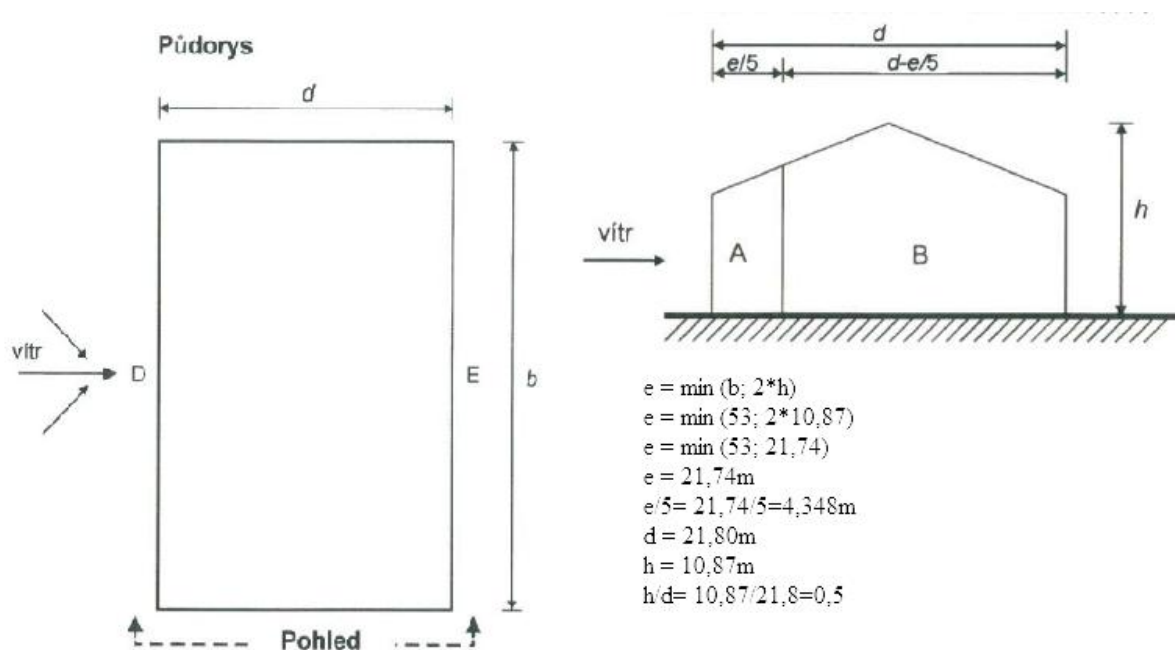
$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Intenzita turbulence $I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{10,87}{0,3}\right)} = 0,2786$

Maximální dynamický tlak $q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) =$
 $= [1 + 7 * 0,2786] * \frac{1}{2} * 1,25 * 19,34^2 = 0,69 \text{ kN/m}^2$

4.2.3.1 Příčný vítr (+ x) ZS7, 8, 9, 10/ (– x) ZS 12, 13, 14, 15

Stěny

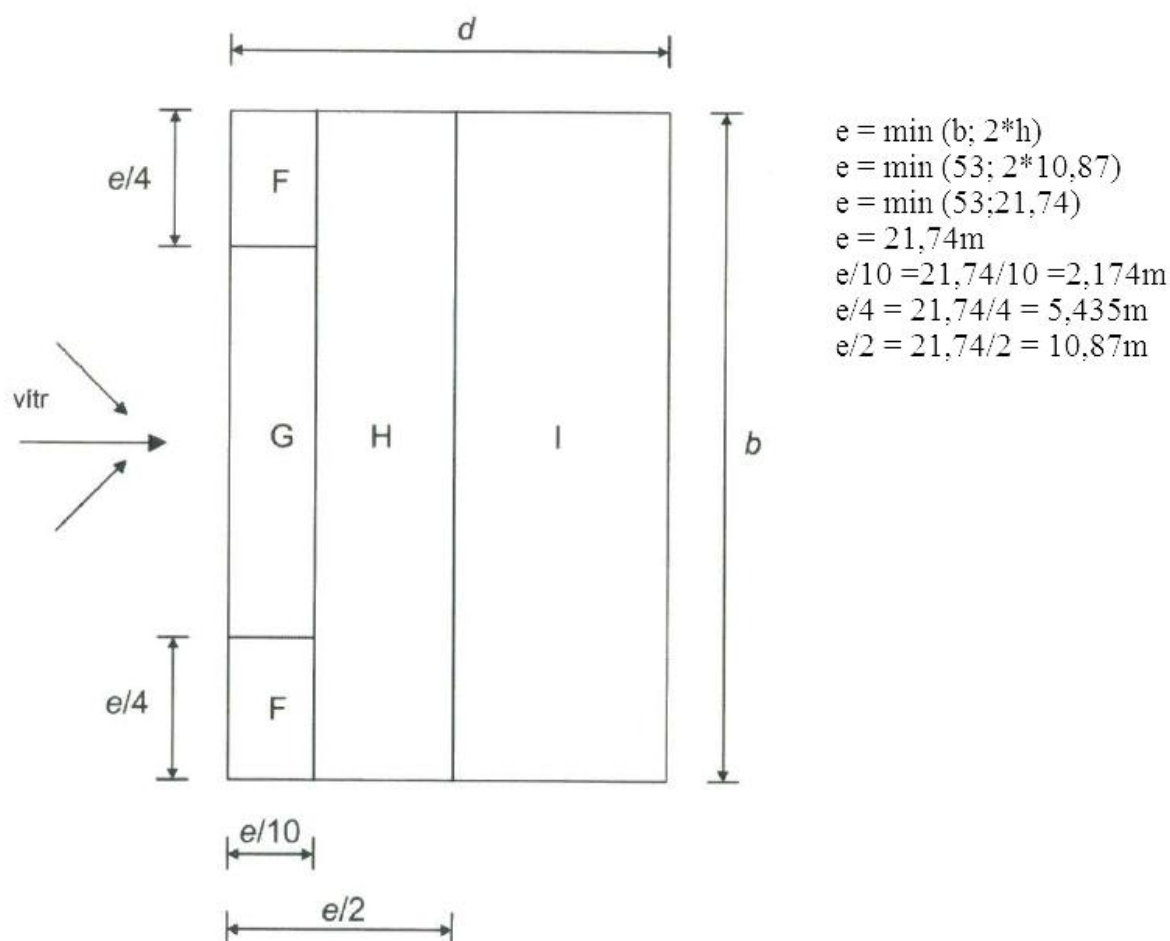


Obr. 42 Příčný vítr na stěny

Součinitelé $c_{pe,10}$ interpolované hodnoty dle normy					
Oblast/ h/d	A	B	C	D	E
0.5	-1.20	-1.00	-0.50	0.74	-0.37
Tlak větru $w_e = c_{ep,10} * q_p(z)$					
$w_e [\text{kN/m}^2]$	-0.828	-0.690	-0.345	0.511	-0.256

Tab. 7. Hodnoty příčného větru na stěny

Střecha



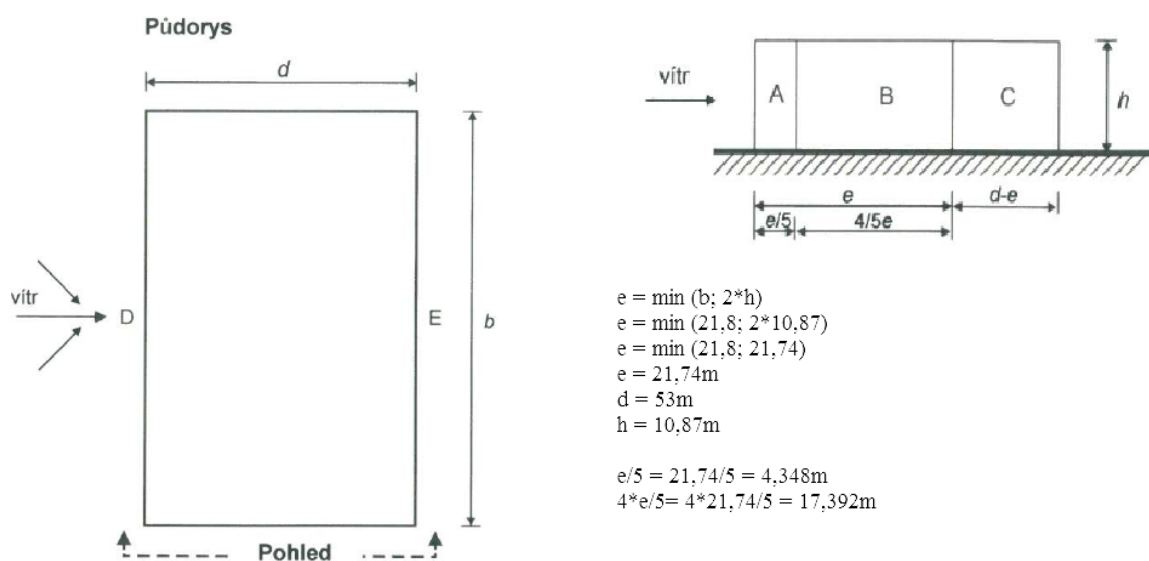
Obr. 43 Příčný vítr na střechu

Součinitelé $c_{pe,10}$ interpolované hodnoty dle normy						
Oblast/ sklon střechy		F	G	H	I	J
12°		-1.14	-0.92	-0.39	-0.46	-0.88
		0.14	0.14	0.14	-0.18	0.06
Kombinace $c_{pe,10}$						
-/-		-1.14	-0.92	-0.39	-0.46	-0.88
+/-		0.14	0.14	0.14	-0.46	-0.88
-/+		-1.14	-0.92	-0.39	0.00	0.06
+/+		0.14	0.14	0.14	0.00	0.06
ZS (-x/+x)	Kombinace	Tlak větru w_e [kN/m ²]				
7/12	-/-	-0.787	-0.635	-0.270	-0.318	-0.608
8/13	+/-	0.097	0.097	0.097	-0.318	-0.608
9/14	-/+	-0.787	-0.635	-0.270	0.000	0.042
10/15	+/+	0.097	0.097	0.097	0.000	0.042

Tab. 8. Hodnoty příčného větru na střechu

4.2.3.2 Podélný vítr (– y) ZS 11

Stěny

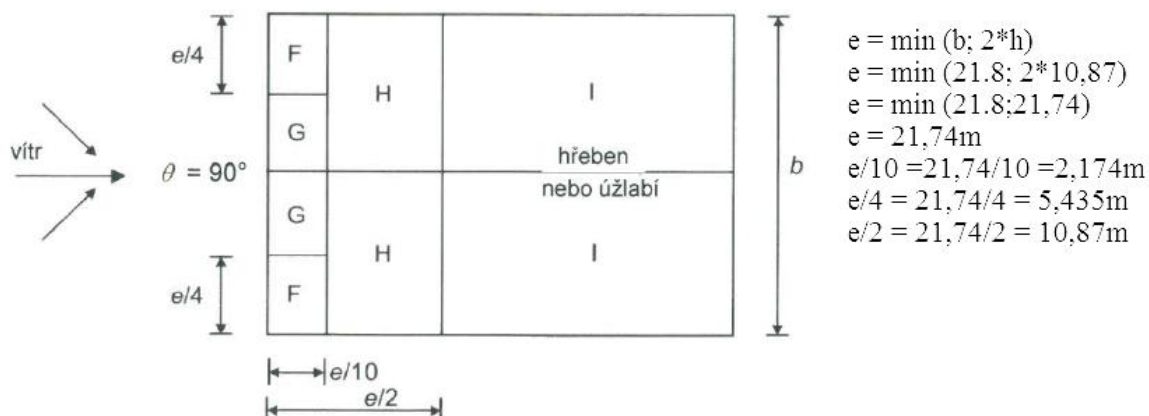


Obr. 44 Podélný vítr na stěny

Součinitelé $c_{pe,10}$ interpolované hodnoty dle normy					
Oblast/ h/d	A	B	C	D	E
0.25	-1.20	-0.80	-0.50	0.70	-0.30
Tlak větru $w_e = c_{ep,10} \cdot q_p(z)$					
$w_e [\text{kN/m}^2]$	-0.828	-0.552	-0.345	0.483	-0.207

Tab. 9. Hodnoty podélného větru na stěny

Střecha



Obr. 45 Podélný vítr na střechu

Součinitelé $c_{pe,10}$ interpolované hodnoty dle normy				
Oblast/ sklon střechy	F	G	H	I
12°	-1.39	-1.30	-0.63	-0.53
Tlak větru $w_e = c_{pe,10} * q_p(z)$				
w_e [kN/m ²]	-0.960	-0.897	-0.435	-0.366

Tab. 10. Hodnoty podélného větru na střeche

5. Kombinace zatížení a výsledků

V bakalářské práci se vyskytují pouze čtyři typy zatížení a to vlastní tíha, užité zatížení, zatížení sněhem a větrem. Bakalářská práce se zabývá statickou analýzou, nikoliv vlastním navrhováním daných průřezů, proto nejsou kladeny velké požadavky na kombinace zatížení (KZ) a na kombinace výsledků (KV), a tak stačí níže uvedené kombinace.

5.1 KZ 1. – Kombinace zatížení

Jedná se o kombinaci stálého a užitého zatížení viz kombinační pravidlo:

$$KZ\ 1. = 1.35 * ZS1 + 1.35 * ZS2 + 1.5 * ZS3 + 1.5 * ZS16$$

Tato kombinace slouží jako rozhodující zatížení pro výpočet přidavného modulu SOILIN, který s touto kombinací pracuje pro výpočet sedání podloží. Kombinace tedy nahrazuje maximální počáteční zatížení stavby.

5.2 KV 1. – Kombinace výsledků

V této kombinaci se kombinuje zatížení sněhem a větrem do jedné kombinace, která je využita v dalších kombinacích výsledků. Kombinační pravidlo:

$$KV\ 1 = ZS4\ \text{nebo}\ do\ ZS6 + ZS7\ \text{nebo}\ do\ ZS15$$

5.3 KV 2. – Kombinace výsledků

Jedná se o maximální/minimální hodnoty výsledků, které vytváří obálku výsledných hodnot. Kombinační pravidlo:

$$KV\ 2 = 1.35 * ZS1/s + 1.35 * ZS2/s + 1.5 * ZS3 + 1.5 * ZS16\ \text{nebo}\ 1.5 * KV1$$

5.4 KV 3. – Kombinace výsledků

Tato kombinace slouží pro zjištění průhybů a deformací především na střešní konstrukci. Kombinační pravidlo:

$$KV\ 3 = ZS1/s + ZS2/s + ZS3 + ZS16\ \text{nebo}\ KV1$$

6. Parametry výpočtů RFEMu

Program Dlubal RFEM využívá k výpočtu metodu konečných prvků (MKP), která vytváří síť prvků. Nastavení sítě prvků bylo ponecháno jako defaultní. Výpočet byl nastaven jako lineární a ve všech zatěžovacích stavech a kombinacích byla nastavena teorie prvního řádu (geometricky lineární výpočet). Metoda řešení rovnic byla nastavena jako přímá. Ohybová teorie desek byla nastavena jako Mindlinova. Přírůstek zatížení nebyl nastaven a bylo tedy zatěžováno v jednom kroku. Redukce součinitelem materiálu γ_M nebyla nastavena, jelikož součinitele všech materiálů byly nastaveny na hodnotu jedna viz část 3.

Počet 3D prvků	0
Počet 2D prvků	12996
Počet 1D prvků	5112
Počet uzlů	15035
Počet rovnic	90210

Obr. 46 Parametry výpočtu MKP u modelu základů z 2D prvků

Počet 3D prvků	77398
Počet 2D prvků	21691
Počet 1D prvků	4551
Počet uzlů	23207
Počet rovnic	139242

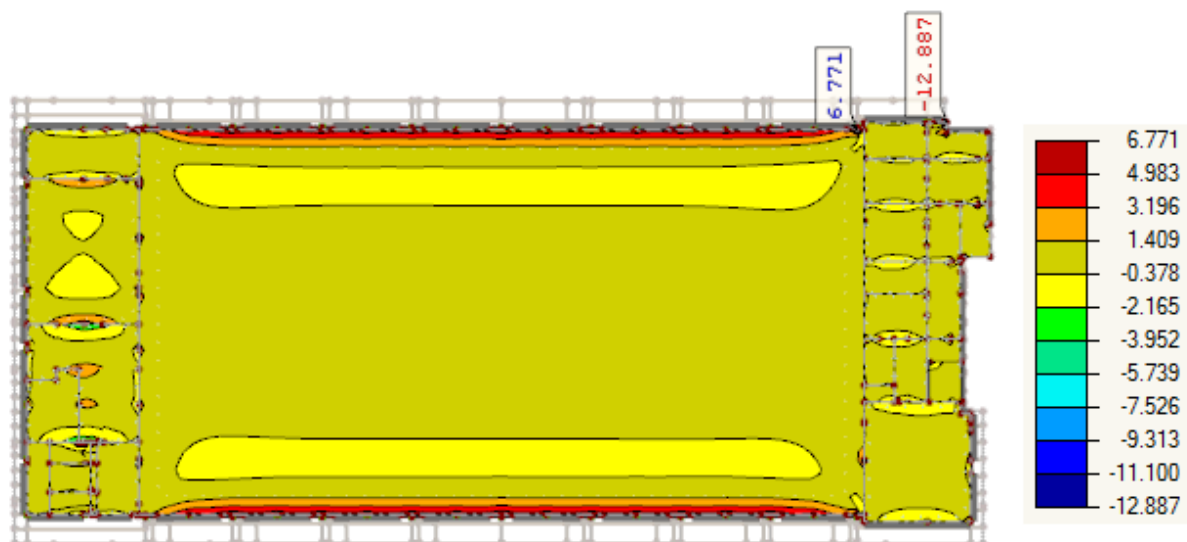
Obr. 47 Parametry výpočtu MKP u modelu základů z 3D těles

7. Výsledky

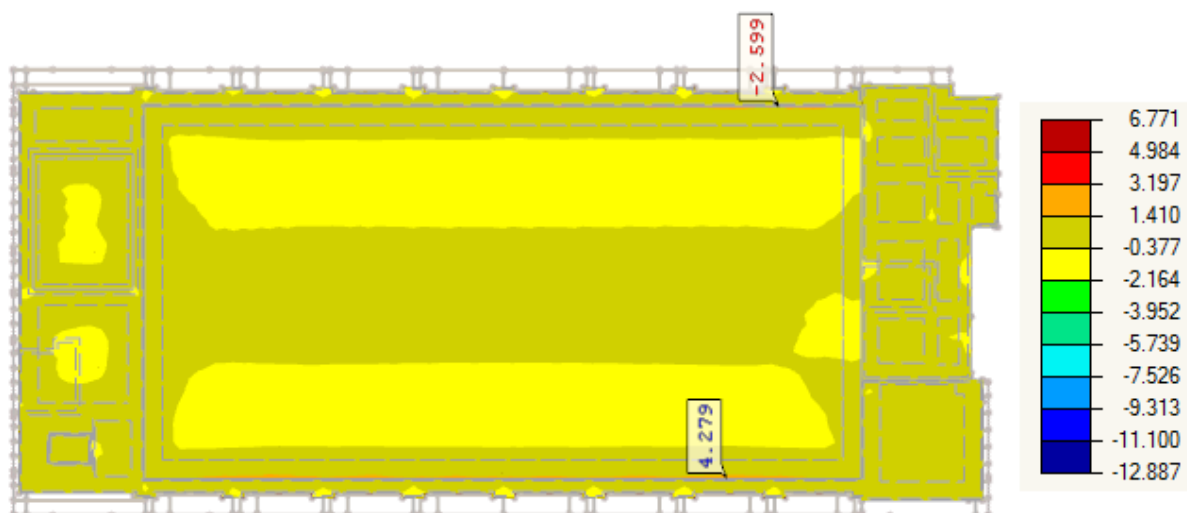
Výsledky budou zpracovány pouze na vybraných částech konstrukce, kde se nachází extrémní hodnoty nebo na částech konstrukce, které je potřeba zohlednit při posouzení sportovní haly.

7.1 Základové konstrukce

Základové konstrukce byly vymodelovány ve dvou variantách viz 2.3.2. Jejich výsledné hodnoty napětí σ_x byly porovnány na spodní hraně základových konstrukcí. Na plochách se napětí výrazně neměnilo, avšak na modelu z 2D prvků byly výrazně větší okrajové napětí jednotlivých desek na průniku s pruty než na modelu z 3D těles, kde jsou hodnoty napětí ustálenější. Z toho vyplývá, že modelování základů jako 3D tělesa je přesnější a nevyvolává takové okrajové extrémy. Typ základů přímo ovlivňuje další část výsledků, a to Analýza interakce konstrukce s podložím a v této části pak bude rozhodnuto, jaký model bude dále zpracováván pro další výsledky. Porovnání bude zobrazeno na obrázcích níže. Pro výsledky byla nastavena stejná stupnice barev.



Obr. 48 Napětí σ_x na modelu základů z 2D prvků

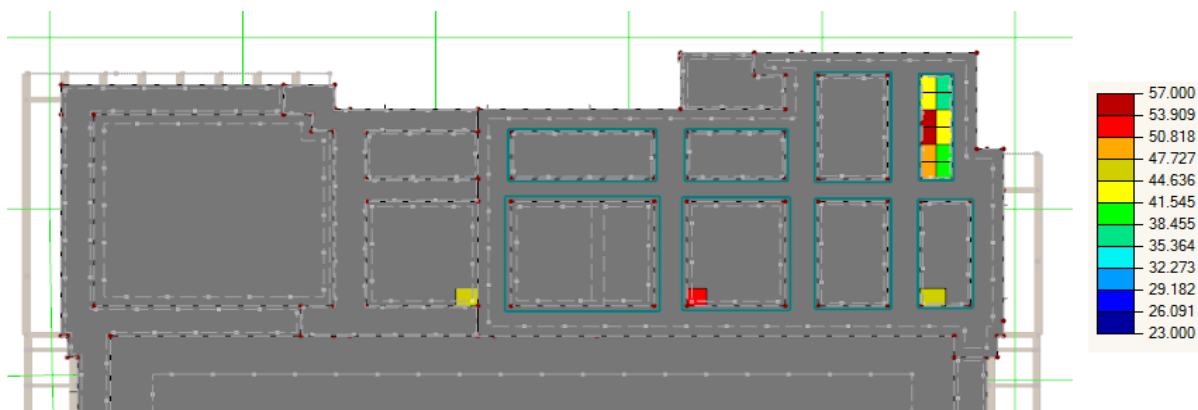


Obr. 49 Napětí σ_x na modelu základů z 3D těles

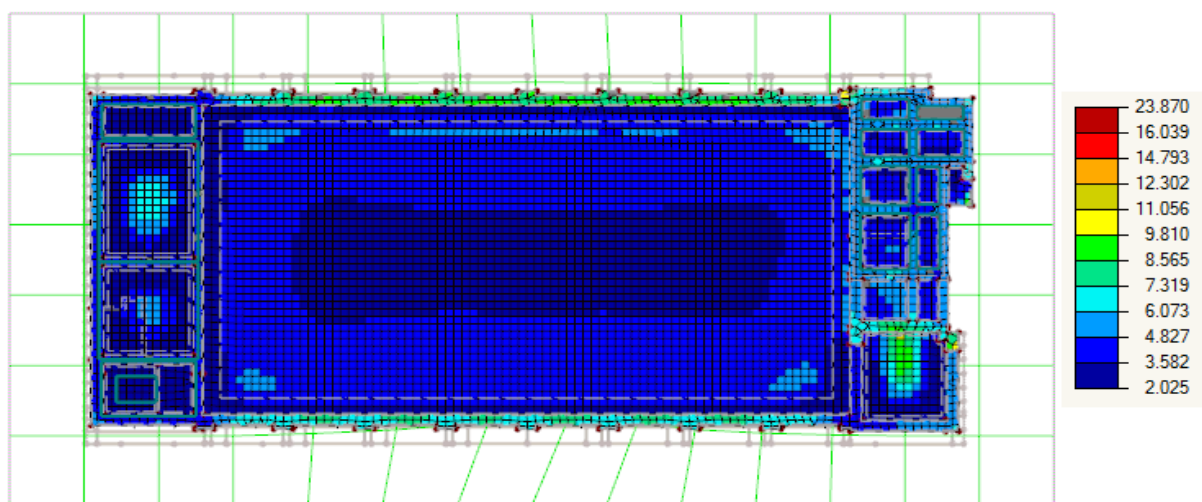
7.2 Analýza interakce konstrukce s podložím

Tato analýza byla provedena pomocí přídatného modulu RF-SOILIN. Pozorované hodnoty jsou především součinitele tuhosti podloží C a celkové sedání $s_{z,0}$. Rozdíly mezi variantami modelu základů z 2D prvků a z 3D těles jsou značné. Při porovnání sedání u modelu základů z 2D prvky vychází maximální sedání 11,27 mm a u modelu základů z 3D těles maximální sedání dosahuje hodnoty 21,57 mm, na stejném místě v první (jihozápadní) části při napojení na stávající objekt základní školy. Navíc u sledování hodnot C u modelu základů z 3D těles se součinitel podloží v určitých částech výrazně liší od běžných hodnot, a proto tyto hodnoty byly odstraněny ze stupnice barev. Odebrané části jsou zobrazeny na Obr. 50. Upravené stupnice hodnoty C z modelování základů z 3D těles na Obr. 51 a hodnoty C z modelování základů z 2D prvků na Obr. 52.

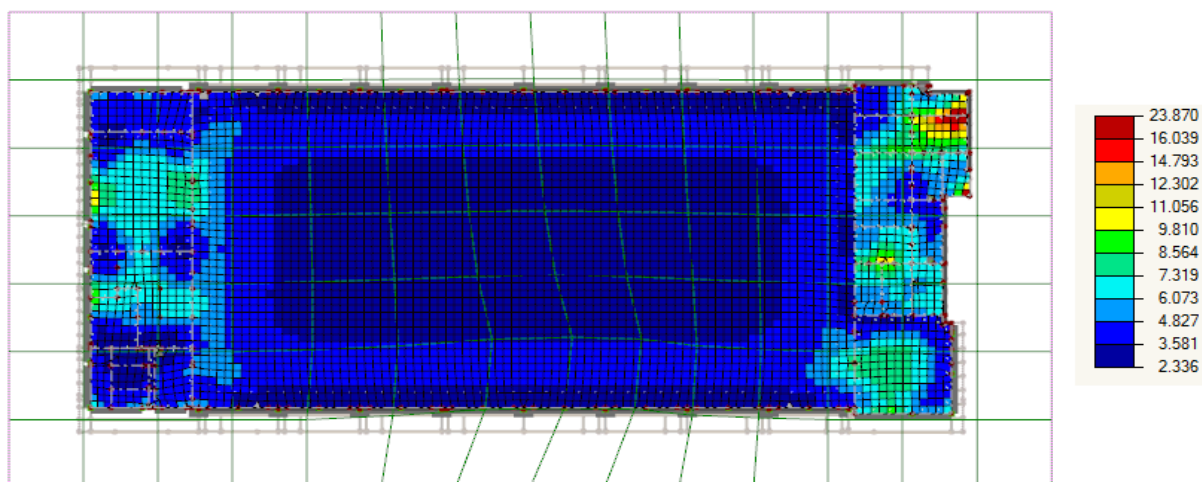
Při vypracování bakalářské práce nebylo zjištěno, proč u modelu z 3D těles došlo k výrazné změně hodnot součinitele tuhosti podloží C viz Obr. 50. Tímto problémem by bylo vhodné se dále zajímat a více porovnat rozdíly mezi 2D a 3D modelem základů a jejich interakcí s podložím. Z těchto zjištěných informací, budou další výsledky přebírány pouze z modelu, kde jsou základy tvořeny jako 2D prvky.



Obr. 50 Model základů z 3D těles – odebraná stupnice hodnot C a zobrazené části



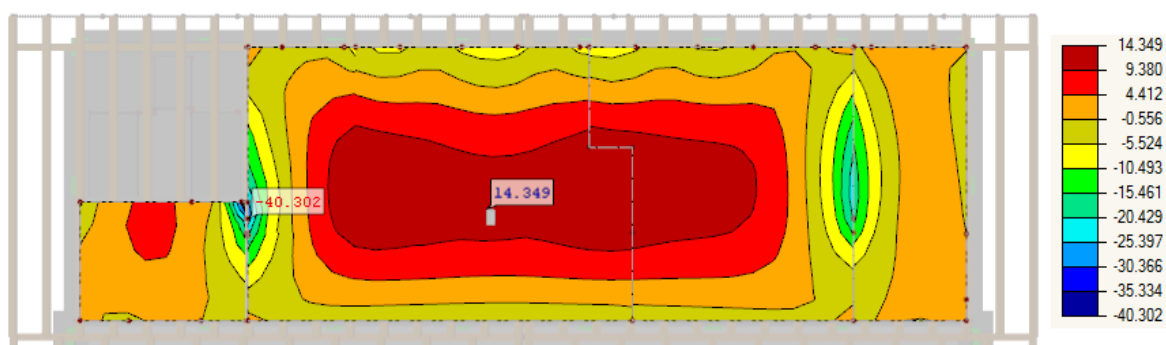
Obr. 51 Model základů z 3D těles – upravená stupnice hodnot C



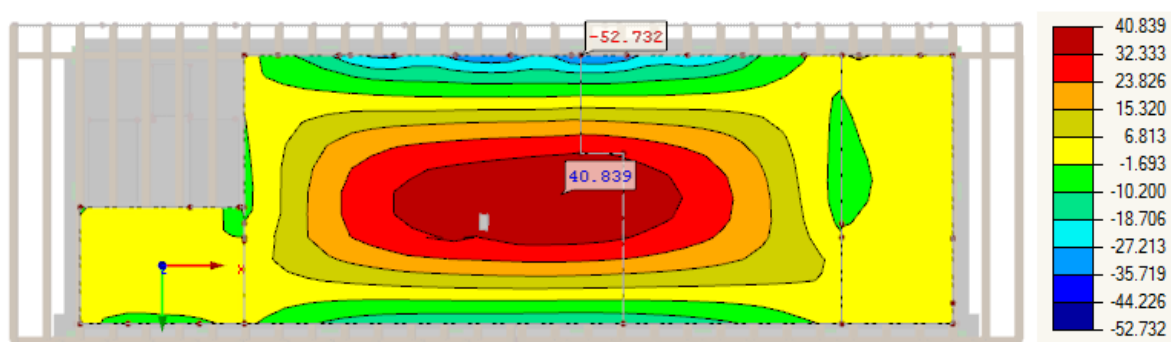
Obr. 52 Model základů z 2D prvků – stupnice hodnot C

7.3 Stropní deska

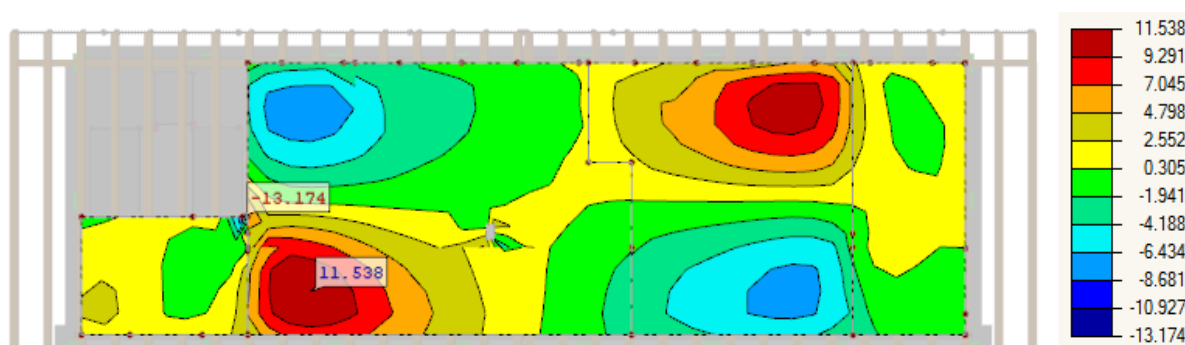
Nejvíce namáhanou stropní deskou od m_y a odpovídajícími m_x a m_{xy} je stropní konstrukce v druhé (severovýchodní) části nad druhým patrem. Průběhy momentů by sloužily pro posouzení navrhnuté výztuže ve stropní desce, to však není součástí bakalářské práce.



Obr. 53 Stropní deska – průběhy m_x [kNm/m]



Obr. 54 Stropní deska – průběhy m_y [kNm/m]



Obr. 55 Stropní deska – průběhy m_{xy} [kNm/m]

7.4 Průvlaky/ ŽB věnce

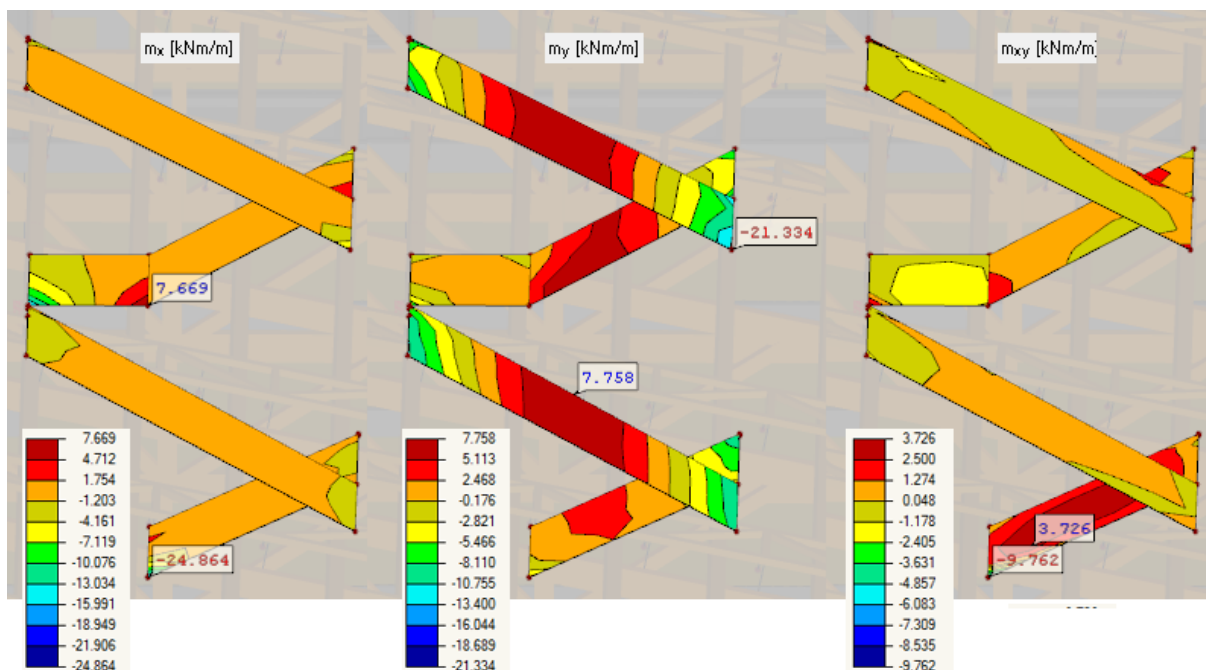
Nejvíce namáhaným vodorovným prutem od M_y je schodišťový průvlak v první (jihozápadní) části v mezipatře. Vnitřní síly by sloužily k návrhu výztuže pro daný prvek.

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			
				N	V_y	V_z	M_T	M_y	M_z	
453	480	0.000	MAX N	105.359	3.141	-0.606	-1.636	34.419	2.520	ZS 1-3,7
2652	483	0.150	MIN N	-95.174	6.678	-104.655	9.420	-38.719	-4.611	ZS 1-3,7
453		0.450	MAX V_y	104.905	8.102	-20.696	-0.799	22.895	-1.165	ZS 1-3,7
452	478	0.000	MIN V_y	-12.219	-9.579	43.746	5.290	-11.568	-2.803	ZS 1,2,5,11
452	478	0.000	MAX V_z	-16.413	-8.042	68.769	9.241	-16.057	-3.307	ZS 1-3,6,8
2652	483	0.150	MIN V_z	-95.174	6.678	-104.655	9.420	-38.719	-4.611	ZS 1-3,7
2652	483	0.150	MAX M_T	-93.188	7.120	-104.459	9.608	-38.372	-4.662	ZS 1-3,12
2651		0.900	MIN M_T	59.382	2.333	18.835	-3.959	18.411	0.947	ZS 1-4,15
453	480	0.000	MAX M_y	104.933	3.138	-1.152	-1.582	34.620	2.491	ZS 1-3
2652	483	0.150	MIN M_y	-94.930	4.267	-101.072	8.906	-38.822	-4.468	ZS 1-3
453	481	1.800	MAX M_z	-56.650	-0.569	-71.298	1.670	-16.214	2.682	ZS 1-3,12
2652	483	0.150	MIN M_z	-93.188	7.120	-104.459	9.608	-38.372	-4.662	ZS 1-3,12

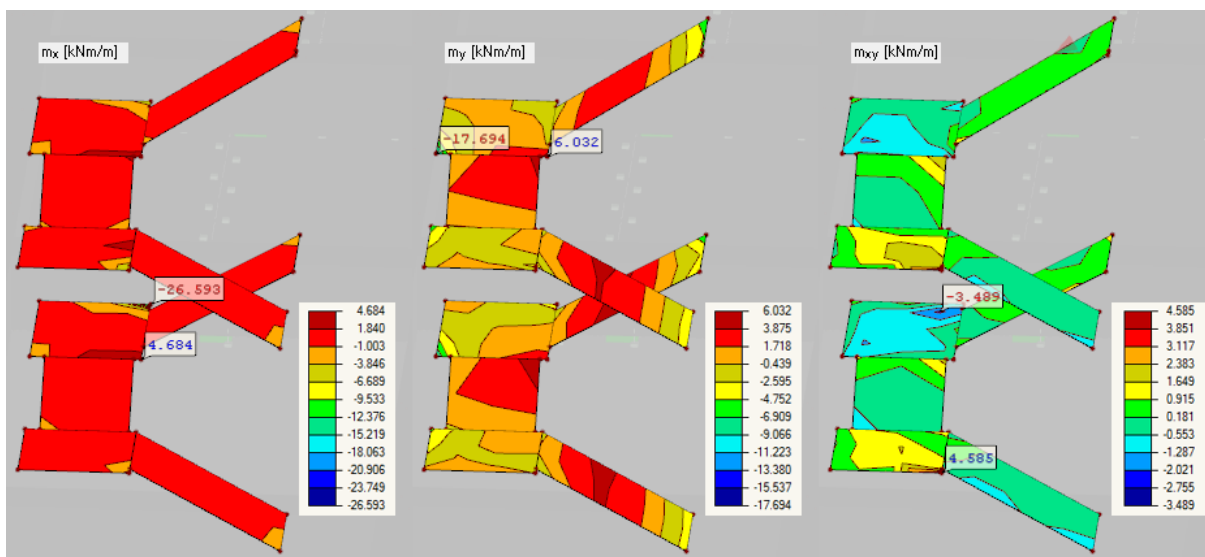
Obr. 56 Vnitřní síly na schodišťovém průvlaku průřez č. 52

7.5 Schodiště

Zobrazení výsledků jednotlivých schodišť, průběhy m_x , m_y a m_{xy} , které by dále sloužily pro návrh výztuže do schodišťových desek.



Obr. 57 Průběhy m_x , m_y a m_{xy} na schodišťových deskách v první (jihozápadní) části

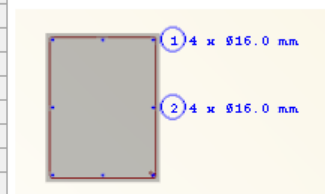


Obr. 58 Průběhy m_x , m_y a m_{xy} na schodišťových deskách v druhé (severovýchodní) části

7.6 Hlavní nosné sloupy

Sloupy jsou hlavní nosnou konstrukcí v části haly. Sloupy jsou o průřezu 500x650 mm a celkové výšce 7,67 m. Sloupy byly zjednodušeně ověřeny pomocí přídatného modulu RF-CONCRETE viz Obr. 59. Navrhovaná výztuž je B500 S 8 Φ 16 mm. Maximální vnitřní síly jsou uvedeny na Obr. 60., avšak převzaté hodnoty přídatným programem neodpovídají maximálním hodnotám. Této chybě by bylo vhodné se dále věnovat, ale v rámci bakalářské práce nebylo zjištěno, proč k této chybě dochází.

Posouzení			
Požadovaná spolehlivost	pož. γ	1.0	
Navržená spolehlivost	navr. γ	3.8127	
Působící vnitřní síly			
Normálová síla	N_{Ed}	-429.525	kN
Moment okolo osy y	$M_{Ed,y}$	-139.236	kNm
Moment okolo osy z	$M_{Ed,z}$	0.000	kNm
Vnitřní síly na mezi pevnosti			
Normál. síla na mezi pevnosti	N_{Rd}	-1637.670	kN
Moment na mezi pevnosti okolo osy y	$M_{y,Rd}$	-530.869	kNm
Moment na mezi pevnosti okolo osy z	$M_{z,Rd}$	0.000	kNm
Kritérium posouzení (pož. γ / navr. γ)	Kritérium	0.2623	



Obr. 59 Posouzení hlavního nosného sloupu podle RF-CONCRETE

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			
				N	V_y	V_z	M_T	M_y	M_z	
1241	1179	4.470	MAX N	-100.418	1.350	1.196	0.167	0.646	-2.762	ZS 1,2,7
82	90	0.000	MIN N	-591.942	-3.765	-39.687	1.004	108.745	-0.910	ZS 1-4,10
2625		0.735	MAX V_y	-208.680	25.242	0.984	-10.740	-12.919	-15.154	ZS 1-3,11
1221	1142	0.000	MIN V_y	-399.419	-11.509	-10.900	-7.850	17.075	-6.553	ZS 1-4,8
1235	1169	0.000	MAX V_z	-483.498	-1.535	45.834	0.459	-139.883	-0.636	ZS 1-4,13
82	90	0.000	MIN V_z	-576.256	-4.581	-46.057	1.464	131.624	-1.000	ZS 1-4,8
2617	82	0.000	MAX M_T	-300.223	-4.398	8.765	23.277	13.683	-3.095	ZS 1-4,10
1222	1143	0.000	MIN M_T	-340.289	-2.385	-1.910	-27.212	-6.573	-1.091	ZS 1,2,4,15
87	95	0.000	MAX M_y	-575.532	-2.700	-45.699	-0.412	136.466	-0.995	ZS 1,2,4,8
1235	1169	0.000	MIN M_y	-483.498	-1.535	45.834	0.459	-139.883	-0.636	ZS 1-4,13
1222	1144	4.470	MAX M_z	-198.030	-4.627	-0.610	-14.675	0.110	18.610	ZS 1-3,13
2625	123	1.470	MIN M_z	-200.618	25.242	1.211	-10.740	-12.084	-33.707	ZS 1-3,11

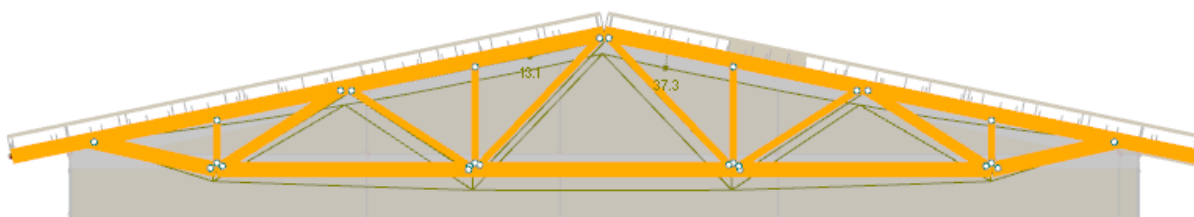
Obr. 60 Vnitřní síly na hlavních nosných sloupech průřez č. 8

7.7 Střešní konstrukce

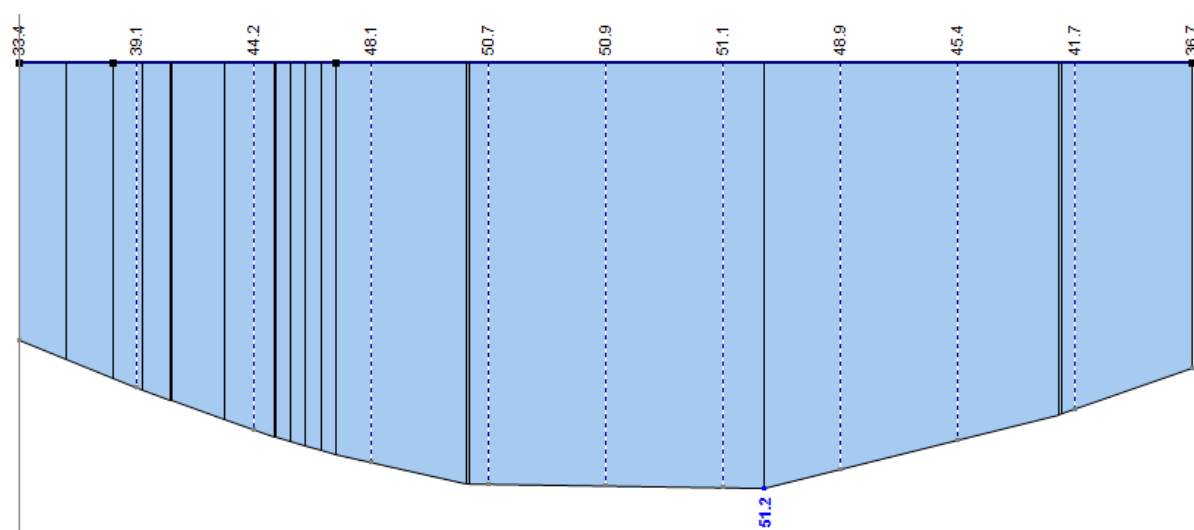
Střešní konstrukce byla posuzována na MSÚ a MSP, podle kombinací viz. část 5.

7.7.1 Mezní stav použitelnosti (MSP)

U střešní konstrukce byl analyzován průhyb vazníků a vaznic. Rozhodující kombinace pro průhyb je KV3 viz část 5.4. Celkový zjištěný průhyb na vazníku o rozpětí 21,5 m je 37,3 mm. Limitní průhyb je $L/250 = 86$ mm, což splňuje podmínky MSP. Celkový průhyb na vaznicích o délce 5 m je 51,2 mm. Celkový průhyb však zahrnuje i průhyb vazníků viz Obr. 62, který odpovídá maximálnímu průhybu 33,4 mm, pak dílčí průhyb na vaznici je roven 17,8 mm, který vyhovuje o 2,2 mm od limitního průhybu, který je $L/250 = 20$ mm.



Obr. 61 Průběh průhybu na vazníku



Obr. 62 Celkový průběh průhybu na vaznici

7.7.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Posouzení vaznice a vazníku bylo provedeno pomocí přídavného modulu RF - TIMBER Pro. Rozhodující kombinace pro MSÚ je KV2 viz část 5.4. Výsledky budou uvedeny pro každý průřez na obrázcích níže. Při posouzení prvků nenastaly žádné problémy, až na posouzení vazníku, bylo zjištěno, že průřez nevyhovuje na maximální posouvající sílu V_z , avšak tenhle posudek je nesprávný z důvodu špatného modelování kotvícího systému vazníků jako vazba vetknutí – kloub viz Obr. 28, který vyvolává extrémní posouvající sílu viz Obr. 67. Ve skutečnosti tato síla, bude roznesena na potřebnou plochu pomocí kotvícího systému.

Průřez č.	Prut č.	Místo x [m]	Zatěžová	Posouzení	Posouzení podle vzorce
59	T-obdélník 160/220 - Vaznice				
	1297	0.000	KV2	0.09 ≤ 1	101) Únosnost průřezu - Tah podél vláken podle 6.1.2
	1081	0.000	KV2	0.02 ≤ 1	102) Únosnost průřezu - Tlak podél vláken podle 6.1.4
	2371	0.400	KV2	0.40 ≤ 1	111) Únosnost průřezu - Smyk od posouvajících síly Vz podle 6.1.7
	2355	0.400	KV2	0.87 ≤ 1	112) Únosnost průřezu - Smyk od posouvajících síly Vy podle 6.1.7
	2355	0.000	KV2	0.48 ≤ 1	121) Únosnost průřezu - Smyk od kroucení podle 6.1.8
	2338	0.000	KV2	0.17 ≤ 1	153) Únosnost průřezu - Dvouosý ohyb podle 6.1.6
	1334	0.080	KV2	0.02 ≤ 1	161) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb okolo osy y a tah podle 6.2.3
	2355	0.000	KV2	0.73 ≤ 1	163) Únosnost průřezu - Dvouosý ohyb a tah podle 6.2.3
	1081	3.645	KV2	0.12 ≤ 1	171) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb okolo osy y a tlak podle 6.2.4
	2339	0.000	KV2	0.63 ≤ 1	173) Únosnost průřezu - Dvouosý ohyb a tlak podle 6.2.4
	1081	0.000	KV2	0.06 ≤ 1	303) Tlačený prut s osovým tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	1132	3.080	KV2	0.51 ≤ 1	311) Ohýbaný prut bez tlakové síly podle 6.3.3 - ohyb okolo osy y
	1081	3.645	KV2	0.13 ≤ 1	323) Prut s ohybem a tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	2339	0.000	KV2	0.68 ≤ 1	333) Prut s dvouosým ohybem a tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	1081	3.080	KV2	0.31 ≤ 1	341) Ohýbaný prut s tlakovou silou podle 6.3.3 - ohyb okolo osy y

Obr. 63 Posouzení vaznice pomocí RF-TIMBER Pro

Průřez č.	Prut č.	Místo x [m]	Zatěžová	Posouzení	Posouzení podle vzorce
57	T-obdélník 160/240 - Př. vazník-přihřady				
	973	3.186	KV2	0.13 ≤ 1	102) Únosnost průřezu - Tlak podél vláken podle 6.1.4
	333	0.000	KV2	0.01 ≤ 1	111) Únosnost průřezu - Smyk od posouvajících síly Vz podle 6.1.7
	973	3.186	KV2	0.20 ≤ 1	303) Tlačený prut s osovým tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os

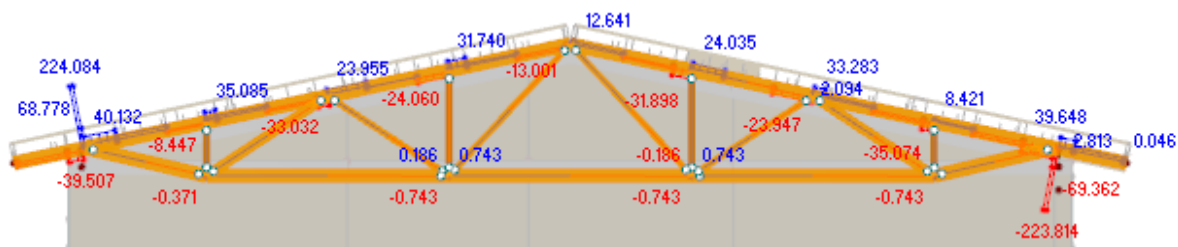
Obr. 64 Posouzení vazníku (průřez č. 57) pomocí RF-TIMBER Pro

Průřez č.	Prut č.	Místo x [m]	Zatěžová	Posouzení	Posouzení podle vzorce
58	T-obdélník 160/160 - Př. vazník-přihřady				
	734	0.000	KV2	0.39 ≤ 1	101) Únosnost průřezu - Tah podél vláken podle 6.1.2
	525	0.000	KV2	0.14 ≤ 1	102) Únosnost průřezu - Tlak podél vláken podle 6.1.4
	854	3.186	KV2	0.01 ≤ 1	111) Únosnost průřezu - Smyk od posouvajících síly Vz podle 6.1.7
	1047	0.000	KV2	0.00 ≤ 1	121) Únosnost průřezu - Smyk od kroucení podle 6.1.8
	734	1.949	KV2	0.41 ≤ 1	161) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb okolo osy z a tah podle 6.2.3
	854	0.000	KV2	0.19 ≤ 1	303) Tlačený prut s osovým tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os

Obr. 65 Posouzení vazníku (průřez č. 58) pomocí RF-TIMBER Pro

Průřez č.	Prut č.	Místo x [m]	Zatěžová	Posouzení	Posouzení podle vzorce
56	T-obdélník 160/320 - Př. vazník-horní+dolní pás				
	1323	0.000	KV2	0.00 ≤ 1	100) Únosnost průřezu - Zanedbatelné vnitřní síly
	401	0.000	KV2	0.80 ≤ 1	101) Únosnost průřezu - Tah podél vláken podle 6.1.2
	751	0.565	KV2	0.58 ≤ 1	102) Únosnost průřezu - Tlak podél vláken podle 6.1.4
	65	0.330	KV2	4.62 > 1	111) Únosnost průřezu - Smyk od posouvajících síly Vz podle 6.1.7
	567	0.000	KV2	0.03 ≤ 1	112) Únosnost průřezu - Smyk od posouvajících síly Vy podle 6.1.7
	751	0.000	KV2	0.08 ≤ 1	121) Únosnost průřezu - Smyk od kroucení podle 6.1.8
	28	1.130	KV2	0.10 ≤ 1	151) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb podle 6.1.6
	401	1.792	KV2	0.82 ≤ 1	161) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb okolo osy y a tah podle 6.2.3
	65	0.330	KV2	0.60 ≤ 1	163) Únosnost průřezu - Dvouosý ohyb a tah podle 6.2.3
	751	0.565	KV2	0.56 ≤ 1	171) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb okolo osy y a tlak podle 6.2.4
	805	0.363	KV2	0.23 ≤ 1	172) Únosnost průřezu - Jednoosý ohyb okolo osy z a tlak podle 6.2.4
	567	1.130	KV2	0.69 ≤ 1	173) Únosnost průřezu - Dvouosý ohyb a tlak podle 6.2.4
	673	0.080	KV2	0.34 ≤ 1	303) Tlačený prut s osovým tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	1276	0.077	KV2	0.59 ≤ 1	311) Ohýbaný prut bez tlakové síly podle 6.3.3 - ohyb okolo osy y
	751	0.565	KV2	0.80 ≤ 1	323) Prut s ohybem a tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	805	0.363	KV2	0.23 ≤ 1	328) Prut s ohybem okolo osy z a tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	567	1.130	KV2	0.93 ≤ 1	333) Prut s dvouosým ohybem a tlakem podle 6.3.2 - vzpěr okolo obou os
	751	0.000	KV2	0.70 ≤ 1	341) Ohýbaný prut s tlakovou silou podle 6.3.3 - ohyb okolo osy y

Obr. 66 Posouzení vazníku (průřez č. 56) pomocí RF-TIMBER Pro



Obr. 67 Průběhy posouvající síly V_z na vazníku

8. Závěr

V rámci bakalářské práce byla provedena statická analýza pro nově postavenou sportovní halu v obci Libina. Podkladem pro tuto práci byla projektová dokumentace firmy S.projekt plus a.s. poskytnutá obecním úřadem Libina. Podle této projektové dokumentace byly vytvořeny 3D modely viz část 2, v programu Dlubal RFEM 5.05, který měl co nejpřesněji napodobit skutečnou stavbu.

Při modelování konstrukcí se nabízely různé varianty jak modelovat dané části konstrukce a proto byly vytvořeny různé varianty. První takovou částí bylo posouzení modelování prutových částí viz část 2.1, kde bylo zjištěno, že nastavení excentricity má výrazný vliv na průběhy vnitřních sil. Proto výsledky vnitřních sil vymodelovaných variant byly přidány do příloh a bylo by vhodné se touto problematikou dále zajímat. Další způsob modelování bylo vytvoření co nejpřesnějšího modelu základů, kde byly vytvořeny dvě varianty a to základy z 2D prvků a z 3D těles. Vyhodnocení těchto variant je uvedeno v části 7.1 a 7.2.

Výsledkem této statické analýzy sportovní haly bylo zjištění maximálního sedání základů, které dosahuje maximální hodnoty 11,27 mm u připojení sportovní haly na základní školu, kde bylo stavební firmou podle technické zprávy provedeno podchycení stavby, které nebylo nijak modelováno, a proto v této části dochází k největšímu sedání. Další maximální sedání stavby je pod výtahovou šachtou, kde bylo zatížení výtahové konstrukce nahrazeno rovnoměrným zatížením o intenzitě $7,7 \text{ kN/m}^2$ viz část 4.1.2.5, pod touto základovou deskou dosahuje sedání hodnoty 8,73 mm. Další hodnoty sedání pod sportovní halou dosahují hodnot v rozmezí 3 - 6 mm, což představuje rovnoměrné sednutí stavby. Výsledky analýzy konstrukce s podloží byla tedy celkově bezproblémová. Bakalářská práce se však nezabývá návrhem a posouzením pilot. Piloty byly pouze nahrazeny, jako vetknutí viz část 2.3.1 a předpokládám, že piloty přenesou potřebné reakce do podloží.

V částech 7.3, 7.4, 7.5 a 7.6 jsou uvedeny maximální vnitřní síly na jednotlivé prvky, které by dále sloužily pro návrh výztuže, to však není obsahem bakalářské práce.

Dalším bodem statické analýzy bylo posouzení střešní konstrukce na MSP a MSÚ. Střešní konstrukce vykazovala poměrně velké průhyby viz část 7.4. Celkový průhyb těchto

maximálních hodnot však nemusí nastat, jelikož byla uvažována nejnepříznivější kombinace zatížení podle normy [1]. Také celkové působení střechy bude tužší o střešní plášť a plnoplošné bednění, které nejsou zachyceny v modelu a pouze zatěžují střešní konstrukci. Další zmenšení průhybu mohlo být při výstavbě odstraněno provedením nadvýšení, o kterém jsem se však z projektové dokumentace nedozvěděl. Doporučil bych tedy proto sledování průhybu střešní konstrukce. Posouzení střešní konstrukce bylo posouzeno v části 7.7



Obr. 68 Vnitřní pohled na tělocvičnu

Literatura a normy

- [1] ČSN EN 1991-1-1Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-3Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [3] ČSN EN 1991-1-4Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007
- [4] Bittnar, Zdeněk. Numerické metody mechaniky 1 / 1. vyd. Praha : ČVUT, 1992. 309 s.
- [5] Bittnar, Zdeněk. Numerické metody mechaniky 2 / 1. vyd. Praha : ČVUT, 1992. 261 s.
- [6] Kadlčák, Jaroslav, Statika stavebních konstrukcí.I.,Základy stavební mechaniky, statisticky určité prutové konstrukce / 2. vyd. Brno : VUTIUM, 2001. 349 s. : il.
- [7] Kadlčák, Jaroslav, Statika stavebních konstrukcí.II.,Statically neurčité prutové konstrukce / Třetí dostisk druhého vyd. V Brně : VUTIUM, 2009. 431 s. : il.
- [8] Manuály k programu RFEM, Ing. Software Dlubal dostupné z:
<https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/manualy?category=rfem>

Seznam obrázků

Obr. 1 Výřez koordinačního výkresu	11
Obr. 2 Západní pohled na stavbu.....	11
Obr. 3 Varianta A – Drátěný model	12
Obr. 4 Varianta A – Transparentní model	13
Obr. 5 Varianta B – Drátěný model.....	13
Obr. 6 Varianta B – Transparentní model	13
Obr. 7 Varianta C – Drátěný model.....	14
Obr. 8 Varianta C – Transparentní model	14
Obr. 9 Varianta D – Drátěný model	14
Obr. 10 Varianta D – Transparentní model	15
Obr. 11 Varianta D – průběhy momentů od svislého zatížení.....	15
Obr. 12 Varianta D – průběhy momentů od vodorovného zatížení.....	16
Obr. 13 Vlastnosti zemin.....	16
Obr. 14 Rozmístění pilot (uzlových podpor).....	17
Obr. 15 Základy 2D prvky.....	18
Obr. 16 Základy 3D tělesa.....	18
Obr. 17 Hlavní nosné sloupy průřez č. 8	19
Obr. 18 Zbývající sloupy průřez č. 15 a č. 37	19
Obr. 19 Obvodové zdivo	20
Obr. 20 Vnitřní zdivo	20
Obr. 21 Stropní desky.....	21
Obr. 22 Věnce a průvlaky.....	21
Obr. 23 Schodiště v první (jihozápadní) části	22
Obr. 24 Schodiště v druhé (severovýchodní) části	22
Obr. 25 Pohled na střešní konstrukci.....	23
Obr. 26 Pohled na výstavbu skutečné střešní konstrukce.....	23
Obr. 27 Pohled na vazníky	24
Obr. 28 Napojení vazníku na sloup (vazba vetknutí - kloub).....	24
Obr. 29 Vodorovné příhradové ztužidlo.....	24
Obr. 30 Zastřešení první (jihozápadní) části tělocvičny.....	24
Obr. 31 Zastřešení druhé (severovýchodní) části tělocvičny	25
Obr. 32 Výpis materiálů a jejich vlastnosti	25
Obr. 33 Varování RFEMu při definování materiálu dřevěných prvků.....	25
Obr. 34 Působení zatížení na schodišťové rameno a podestu	28
Obr. 35 Působení zatížení od střešního pláště	29
Obr. 36 Mapa sněhových oblastí	30

Obr. 37 Sníh plný	31
Obr. 38 Sníh levý.....	31
Obr. 39 Sníh pravý	31
Obr. 40 Zobrazení zatížení větru na střechu (ZS7 – vítr –x -/-)	31
Obr. 41 Mapa větrných oblastí	32
Obr. 42 Příčný vítr na stěny.....	33
Obr. 43 Příčný vítr na střechu.....	34
Obr. 44 Podélný vítr na stěny	35
Obr. 45 Podélný vítr na střechu	35
Obr. 46 Parametry výpočtu MKP u modelu základů z 2D prvků.....	37
Obr. 48 Napětí σ_x na modelu základů z 2D prvků.....	38
Obr. 49 Napětí σ_x na modelu základů z 3D těles.....	38
Obr. 50 Model základů z 3D těles – odebraná stupnice hodnot C a zobrazené části	39
Obr. 51 Model základů z 3D těles – upravená stupnice hodnot C	39
Obr. 52 Model základů z 2D prvků – stupnice hodnot C	39
Obr. 53 Stropní deska – průběhy m_x [kNm/m]	40
Obr. 54 Stropní deska – průběhy m_y [kNm/m]	40
Obr. 55 Stropní deska – průběhy m_{xy} [kNm/m].....	40
Obr. 56 Vnitřní síly na schodišťovém průvlaku průřez č. 52	41
Obr. 57 Průběhy m_x , m_y a m_{xy} na schodišťových deskách v první (jihozápadní) části	41
Obr. 58 Průběhy m_x , m_y a m_{xy} na schodišťových deskách v druhé (severovýchodní) části	42
Obr. 59 Posouzení hlavního nosného sloupu podle RF-CONCRETE	42
Obr. 60 Vnitřní síly na hlavních nosných sloupech průřez č. 8.....	42
Obr. 61 Průběh průhybu na vazníku	43
Obr. 62 Celkový průběh průhybu na vaznici.....	43
Obr. 63 Posouzení vaznice pomocí RF-TIMBER Pro	44
Obr. 64 Posouzení vazníku (průřez č. 57) pomocí RF-TIMBER Pro	44
Obr. 65 Posouzení vazníku (průřez č. 58) pomocí RF-TIMBER Pro	44
Obr. 66 Posouzení vazníku (průřez č. 56) pomocí RF-TIMBER Pro	44
Obr. 67 Průběhy posouvající síly V_z na vazníku	45
Obr. 68 Vnitřní pohled na tělocvičnu	46

Seznam tabulek

Tab. 1. Vybrané výsledky M [kNm] na variantách A – D	15
Tab. 2. Zatížení od příček	26
Tab. 3. Skladby podlah a jejich výsledné zatížení g_k	28
Tab. 4. Skladba a zatížení na schodišťová ramena	28
Tab. 5. Skladba a zatížení střešního pláště	29
Tab. 6. Užité zatížení jednotlivých místností/ploch	30
Tab. 7. Hodnoty příčného větru na stěny	33
Tab. 8. Hodnoty příčného větru na střechu	34
Tab. 9. Hodnoty podélného větru na stěny	35
Tab. 10. Hodnoty podélného větru na střechu	36

Seznam symbolů a zkratek

C	součinitele tuhosti podloží
$s_{z,0}$	sedání
ν	Poissonův součinitel
E	modul pružnosti
G	smykový modul
γ_M	součinitel spolehlivosti
γ	objemová tíha
α	součinitel teplotní roztažnosti
μ_1	tvarový součinitel
c_e	typ krajiny
c_t	tepelný součinitel
c_{dir}	součinitel směru větru
c_{season}	součinitel ročního období
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost
v_b	základní rychlost větru
z_0	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu kat. II.
z_{min}	minimální výška
k_r	součinitel terénu
c_r	součinitel drsnosti
v_m	střední rychlost větru
$c_0(z)$	součinitel ortografie
k_1	součinitel turbulence
ρ	měrná hmotnost vzduchu
$I_v(z)$	intenzita turbulence
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak
ZS	zatěžovací stav
KV	konstrukční vrstva
KZ	kombinace zatížení
KV1, KV2	kombinace výsledků
MSÚ	mezí stav únosnosti
MSP	mezí stav použitelnosti

Seznam příloh

Příloha č. 1.	CD.....	53
Příloha č. 2.	Výsledky modelování prutových částí varianta A.....	54
Příloha č. 3.	Výsledky modelování prutových částí varianta B1	56
Příloha č. 4.	Výsledky modelování prutových částí varianta B2	58
Příloha č. 5.	Výsledky modelování prutových částí varianta C1	60
Příloha č. 6.	Výsledky modelování prutových částí varianta C2	62
Příloha č. 7.	Výsledky modelování prutových částí varianta D.....	64

Příloha č. 1. CD

Součástí bakalářské práce je CD s následujícím obsahem:

Sportovní hala-základy z 2D prvků

Sportovní hala-základy z 3D těles

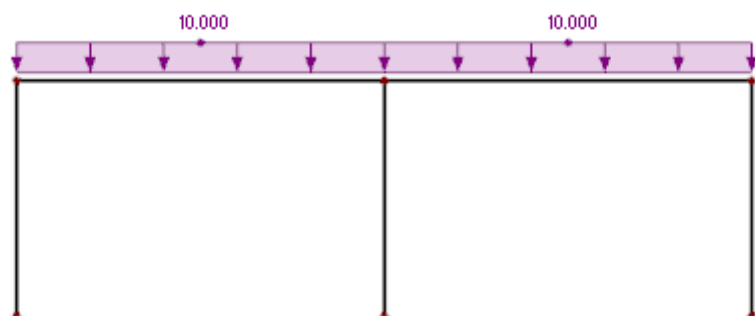
Projektová dokumentace =>

01. Koordinační výkres
02. Půdorys 1.NP
03. Půdorys 2.NP
04. Půdorys 3.NP
05. Řezy
06. Schéma konstrukce střechy
07. Tvar železobetonových konstrukcí nad 1.NP
08. Tvar železobetonových konstrukcí nad 2.NP
09. Tvar železobetonových konstrukcí nad 3.NP
10. Schéma základů
11. Technická zpráva

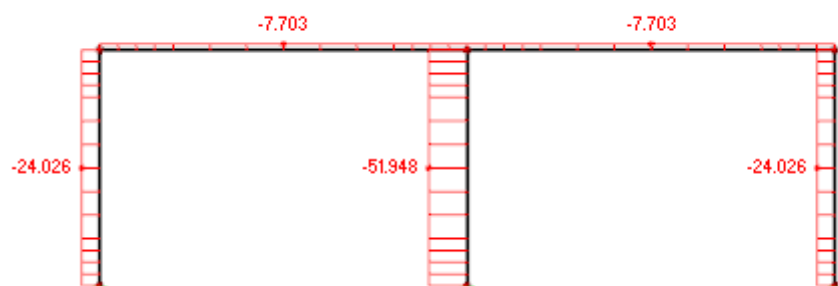
Řešení modelování prutových částí=>

- Varianta A
- Varianta B1
- Varianta B2
- Varianta C1
- Varianta C2
- Varianta D

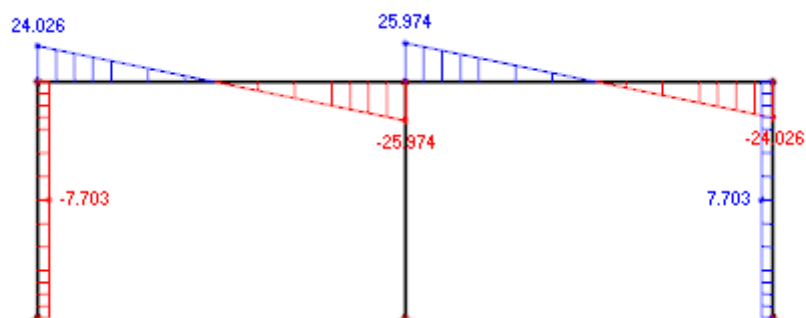
Příloha č. 2. Výsledky modelování prutových částí varianta A
ZS1 Svislé zatížení [kN/m]



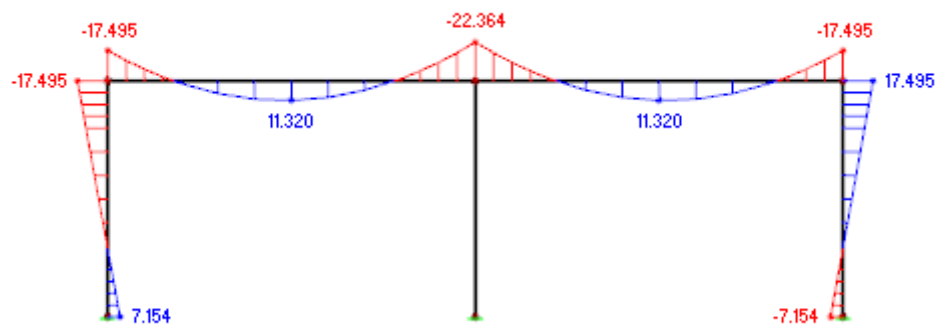
Vnitřní síly N [kN]



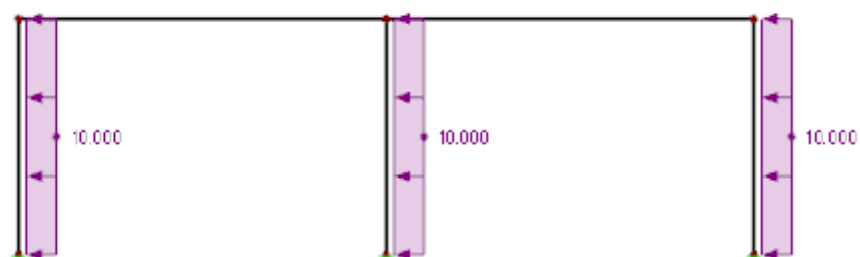
Vnitřní síly V_z [kN]



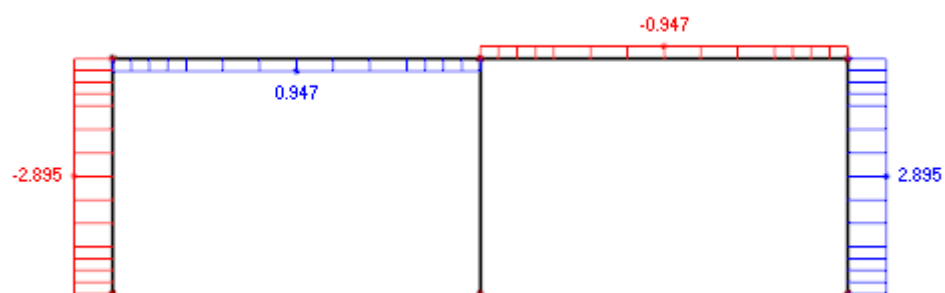
Vnitřní síly M_y [kNm]



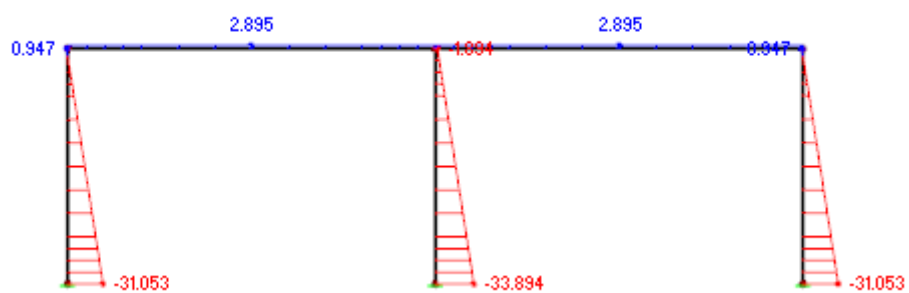
ZS2 Vodorovné zatížení [kN/m]



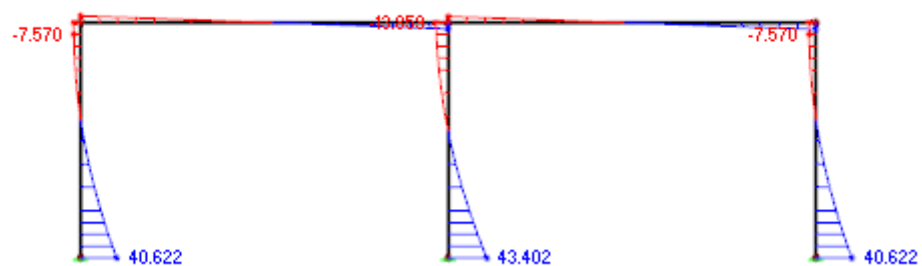
Vnitřní síly N [kN]



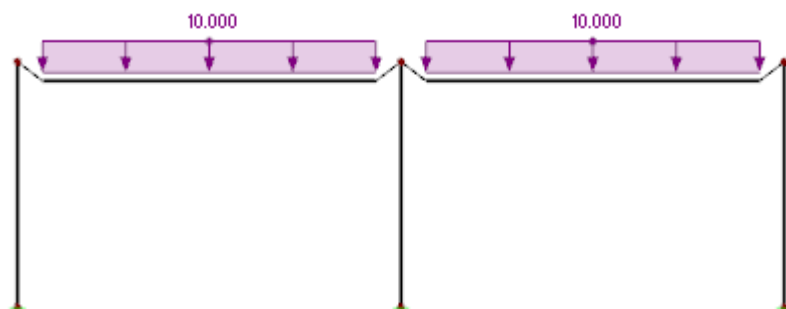
Vnitřní síly V_z [kN]



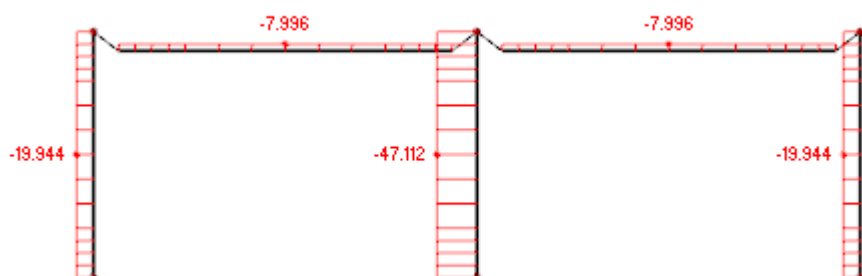
Vnitřní síly M_y [kNm]



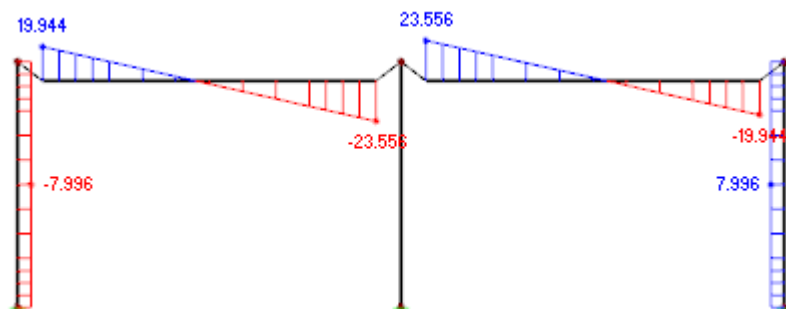
Příloha č. 3. Výsledky modelování prutových částí varianta B1
 ZS1 Svislé zatížení [kN/m]



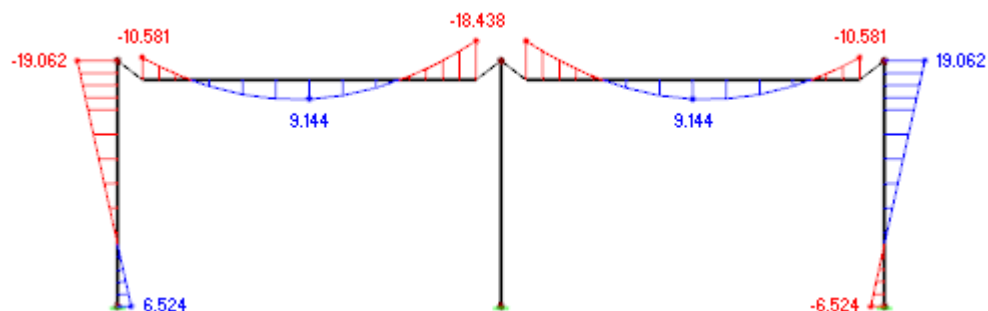
Vnitřní síly N [kN]



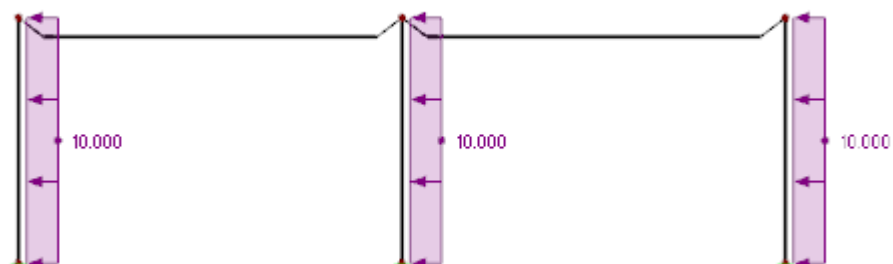
Vnitřní síly V_z [kN]



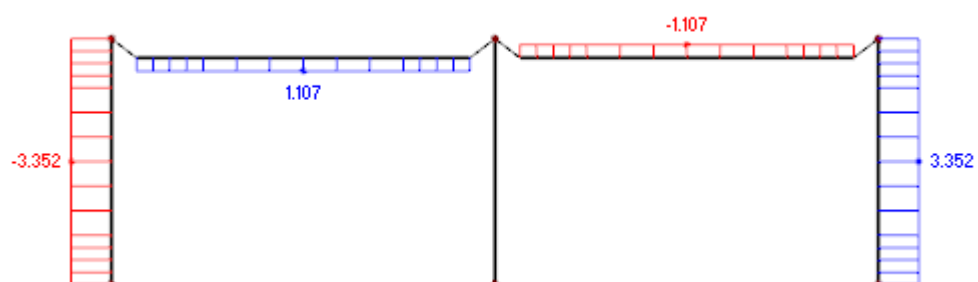
Vnitřní síly M_y [kNm]



ZS2 Vodorovné zatížení [kN/m]



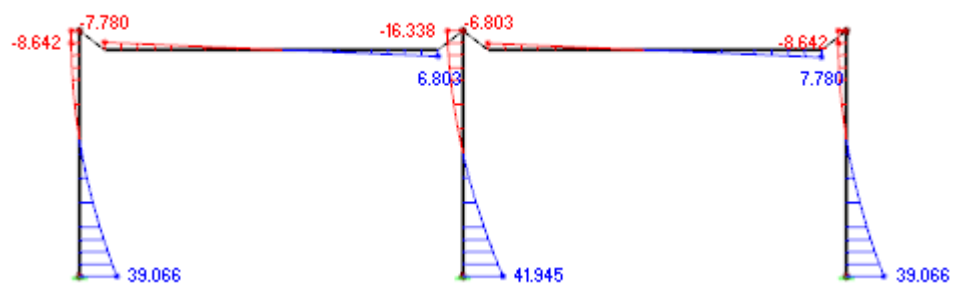
Vnitřní síly N [kN]



Vnitřní síly V_z [kN]

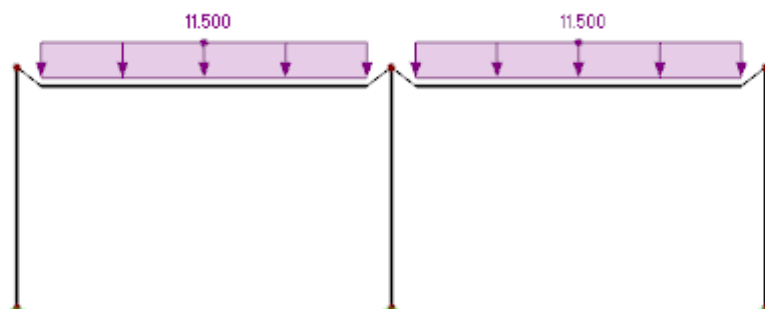


Vnitřní síly M_y [kNm]

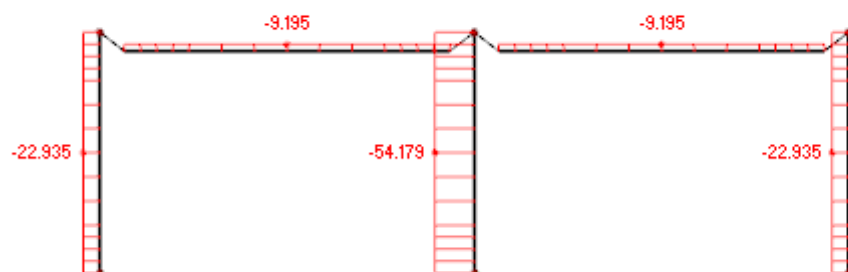


Příloha č. 4. Výsledky modelování prutových částí varianta B2

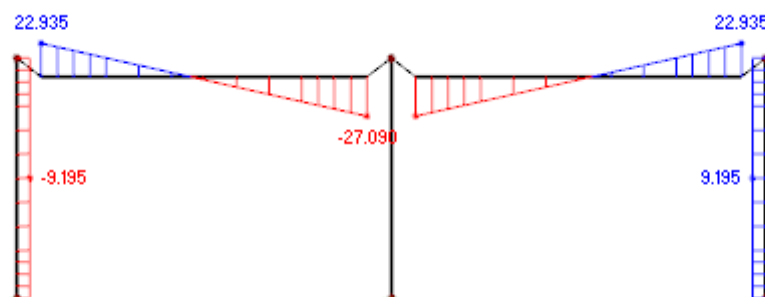
ZS1 Svislé zatížení [kN/m]



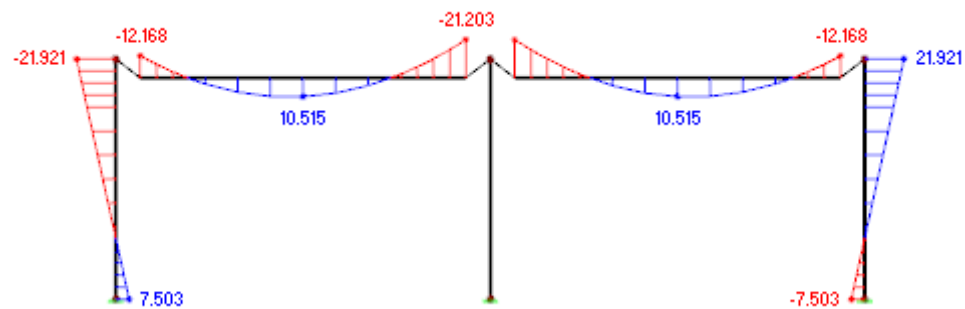
Vnitřní síly N [kN]



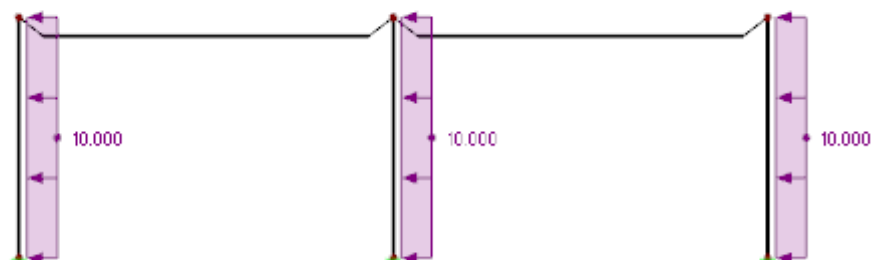
Vnitřní síly V_z [kN]



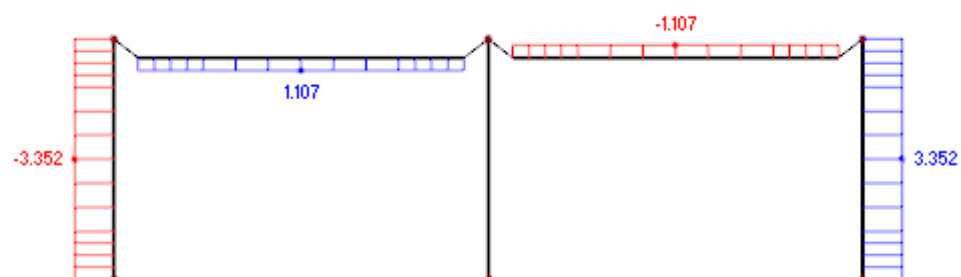
Vnitřní síly M_y [kNm]



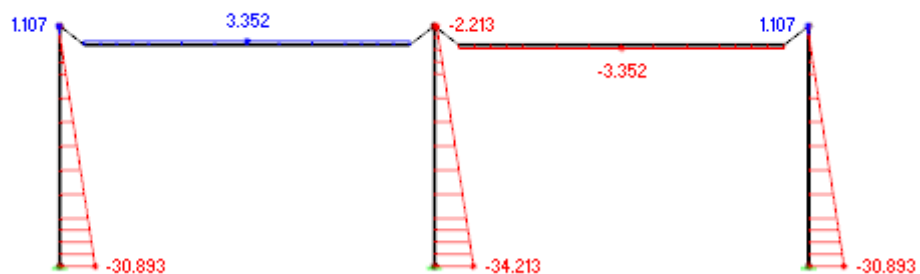
ZS2 Vodorovné zatížení [kN/m]



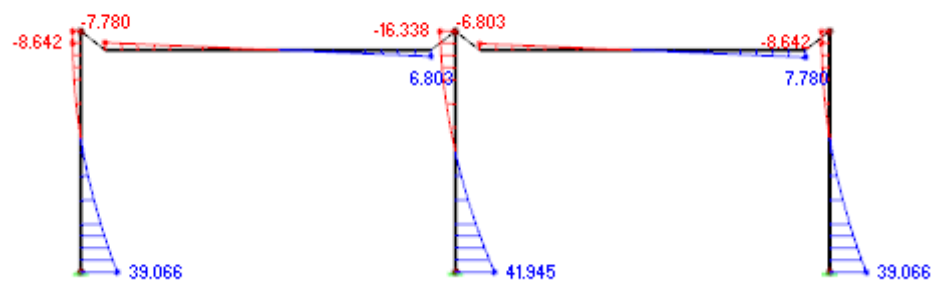
Vnitřní síly N [kN]



Vnitřní síly V_z [kN]

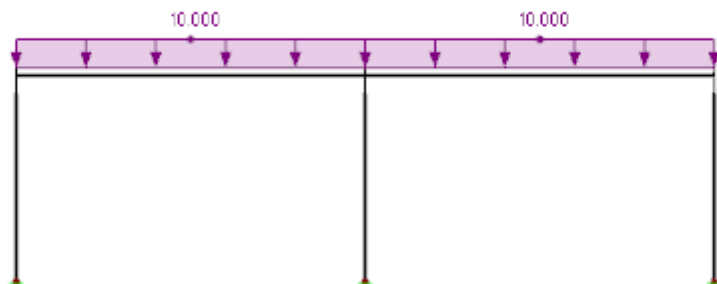


Vnitřní síly M_y [kNm]

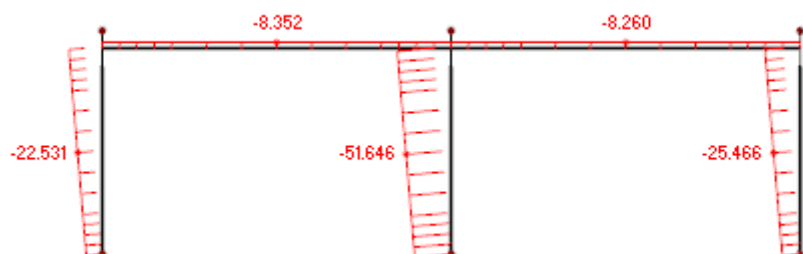


Příloha č. 5. Výsledky modelování prutových částí varianta C1

ZS1 Svislé zatížení [kN/m]



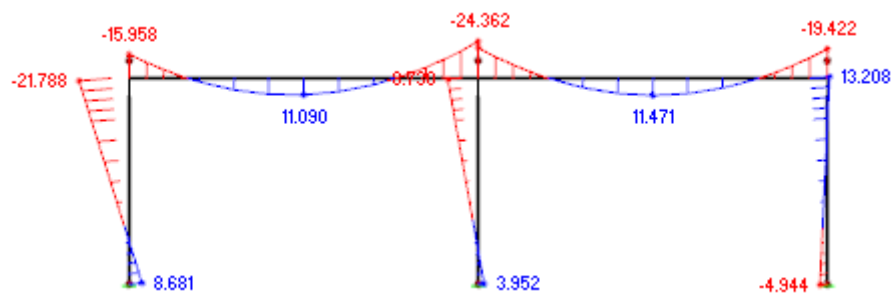
Vnitřní síly N [kN]



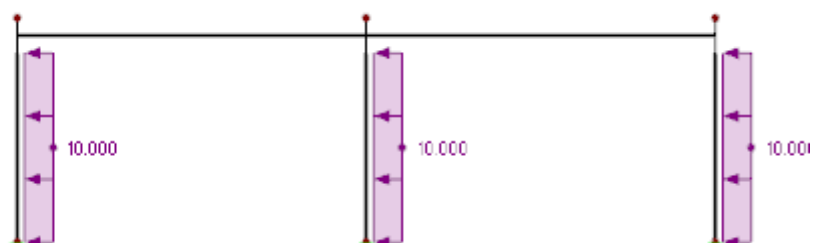
Vnitřní síly V_z [kN]



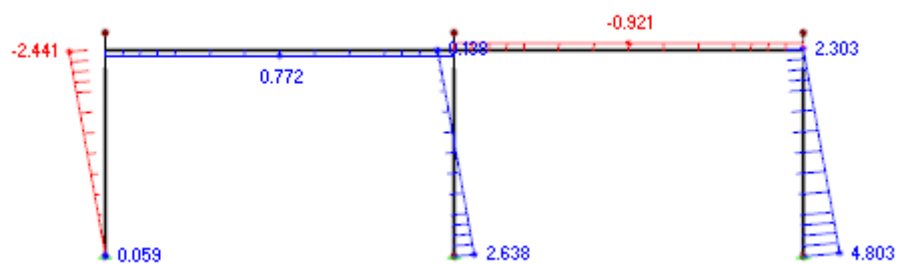
Vnitřní síly M_y [kNm]



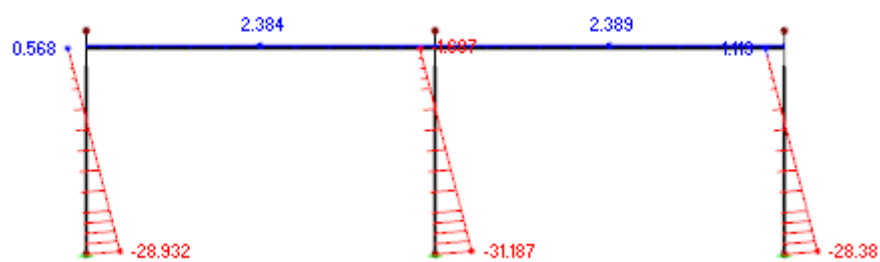
ZS2 Vodorovné zatížení [kN/m]



Vnitřní síly N [kN]



Vnitřní síly V_z [kN]

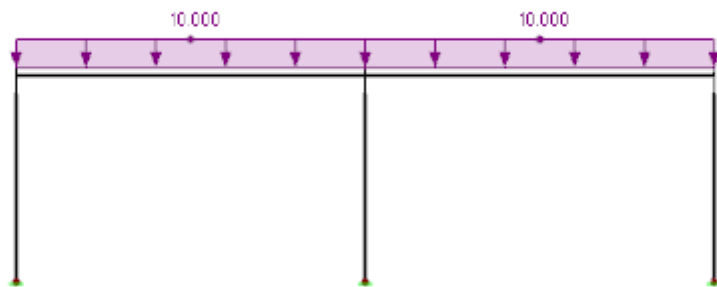


Vnitřní síly M_y [kNm]

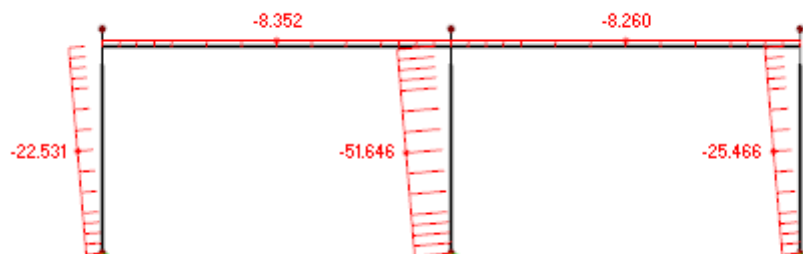


Příloha č. 6. Výsledky modelování prutových částí varianta C2

ZS1 Svislé zatížení [kN/m]



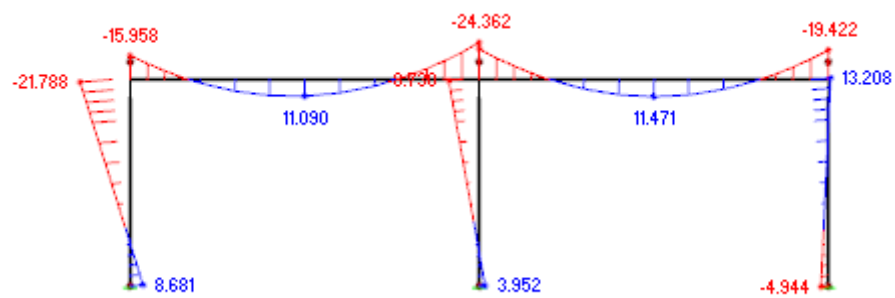
Vnitřní síly N [kN]



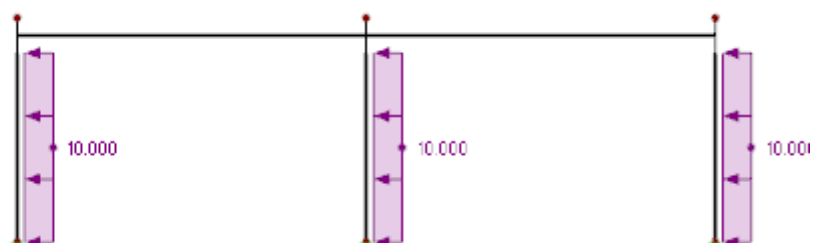
Vnitřní síly V_z [kN]



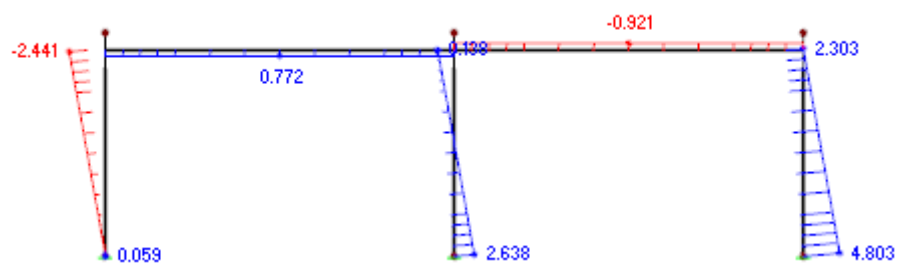
Vnitřní síly M_y [kNm]



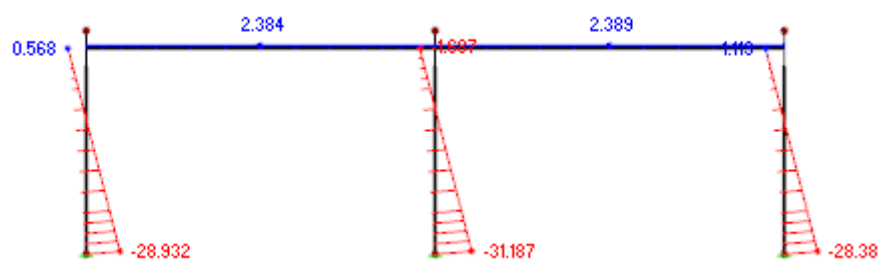
ZS2 Vodorovné zatížení [kN/m]



Vnitřní síly N [kN]



Vnitřní síly V_z [kN]

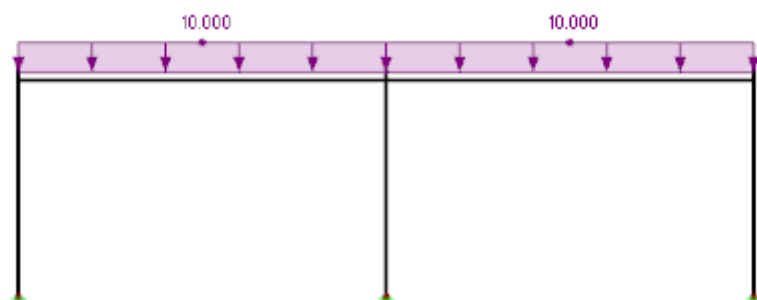


Vnitřní síly M_y [kNm]

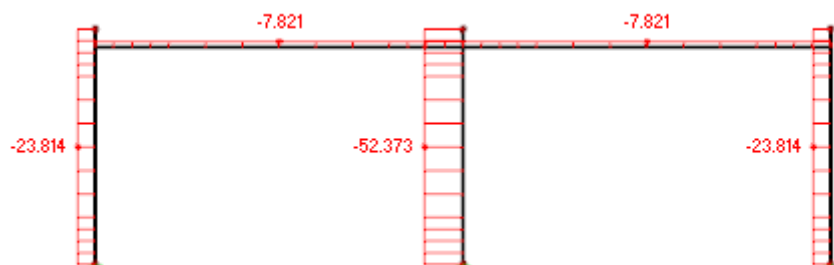


Příloha č. 7. Výsledky modelování prutových částí varianta D

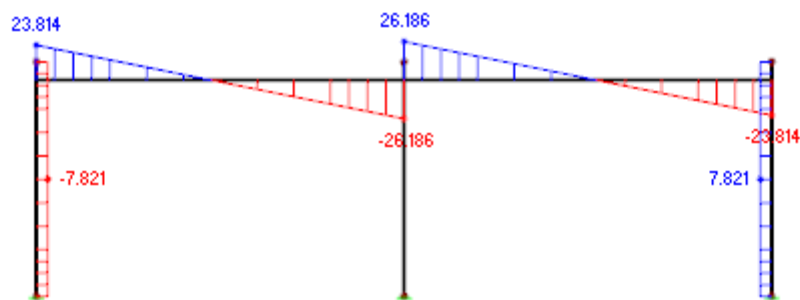
ZS1 Svislé zatížení [kN/m]



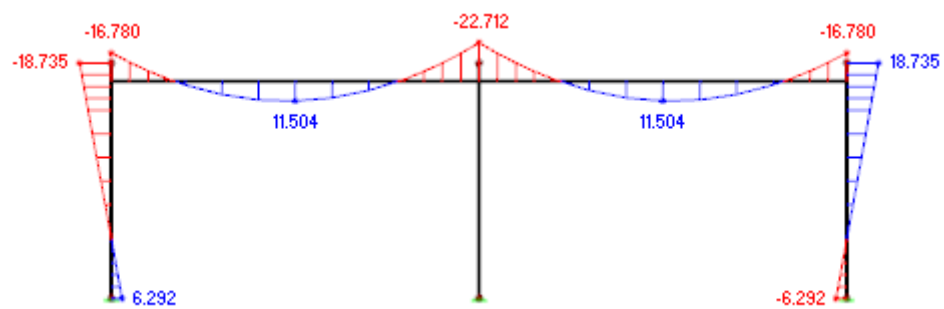
Vnitřní síly N [kN]



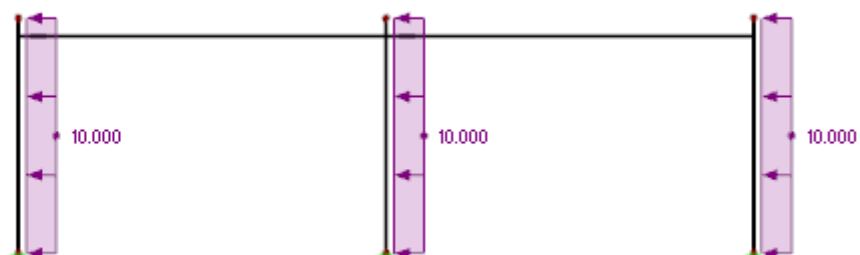
Vnitřní síly V_z [kN]



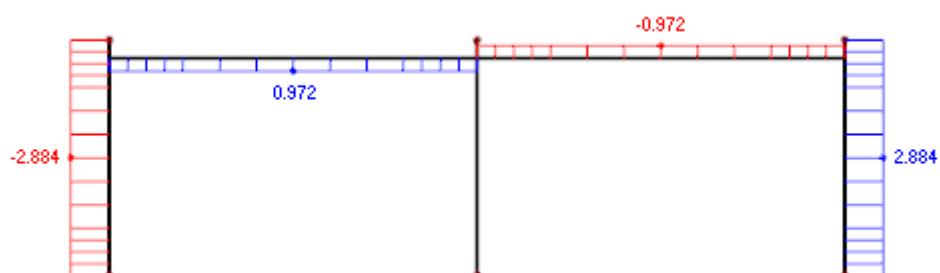
Vnitřní síly M_y [kNm]



ZS2 Vodorovné zatížení [kN/m]



Vnitřní síly N [kN]



Vnitřní síly V_z [kN]



Vnitřní síly M_y [kNm]

